

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO DE ARTES
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ARQUITETURA E URBANISMO

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM ARQUITETURA E URBANISMO

**NÃO CONFORMIDADES DE PROPRIEDADES TÉRMICAS
DA NBR 15.575-4 COM ÍNDICES DE CONFORTO TÉRMICO
ADAPTATIVO**

MARIANA VALLORY MICHEL

Vitória, Maio de 2019

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO DE ARTES
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ARQUITETURA E URBANISMO

MARIANA VALLORY MICHEL

**NÃO CONFORMIDADES DE PROPRIEDADES TÉRMICAS DA
NBR 15.575-4 COM ÍNDICES DE CONFORTO TÉRMICO
ADAPTATIVO**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo (PPGAU) do curso de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal do Espírito Santo (UFES) como etapa final do mestrado “Cidade e impactos no território” na linha de pesquisa “Patrimônio, sustentabilidade e tecnologia”.

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Andréa Coelho Laranja
Co-orientadora: Prof.^a Dr.^a Edna Aparecida Nico-Rodrigues

Vitória
Maio de 2018

Ficha catalográfica disponibilizada pelo Sistema Integrado de
Bibliotecas - SIBI/UFES e elaborada pelo autor

M623n Michel, Mariana Vallory, 1988-
Não conformidades de propriedades térmicas da NBR
15.575-4 com índices de conforto térmico adaptativo. / Mariana
Vallory Michel. - 2019.
166 f. : il.

Orientadora: Andréa Coelho Laranja.
Coorientadora: Edna Aparecida Nico-Rodrigues.
Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) -
Universidade Federal do Espírito Santo, Centro de Artes.

1. Propriedades térmicas. 2. NBR 15.575. 3. Paredes
externas. 4. Índices de conforto térmico. 5. Absortância solar.. I.
Laranja, Andréa Coelho. II. Nico-Rodrigues, Edna Aparecida.
III. Universidade Federal do Espírito Santo. Centro de Artes. IV.
Título.

CDU: 72

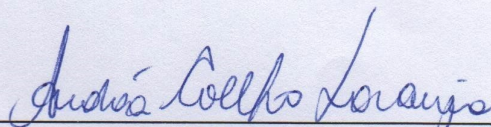
MARIANA VALLORY MICHEL

“NÃO CONFORMIDADES DE PROPRIEDADES TÉRMICAS DA NBR
15.575-4 COM ÍNDICES DE CONFORTO TÉRMICO ADAPTATIVO”

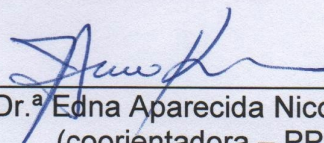
Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em
Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal do Espírito
Santo, como requisito final para a obtenção do grau de Mestre em
Arquitetura e Urbanismo.

Aprovada em 22 de março de 2019.

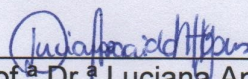
Comissão Examinadora



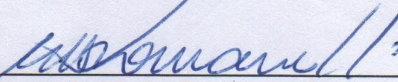
Prof.ª Dr.ª Andréa Coelho Laranja
(orientadora – PPGAU/UFES)



Prof.ª Dr.ª Edna Aparecida Nico Rodrigues
(coorientadora – PPGAUUFES)



Prof.ª Dr.ª Luciana Aparecida Netto Jesus
(membro externo – PPGEU/UFES)



Prof. Dr. Marco Antônio Cypreste Romanelli
(membro externo – DAU/UFES)

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus pais que deram a vida por mim e ao meu marido que completou o sentido da minha vida.

AGRADECIMENTOS

Reconheço o mérito de minha orientadora Prof^a Dr^a Andréa Coelho Laranja e co-orientadora Prof.^a Dr.^a Edna Aparecida Nico-Rodrigues pelas contribuições durante todo o desenvolvimento desta dissertação. Além disso, agradeço à Universidade Federal do Espírito Santo (UFES) e ao Laboratório de Planejamento e Projetos (LPP) pela infraestrutura e à Prof^a Dr^a Cristina Engel de Alvarez enquanto coordenadora do referido laboratório no qual pude me dedicar com exclusividade nesses dois anos à pesquisa. De mesmo modo, agradeço aos membros das bancas de qualificação e de defesa, Professores Dr^a Eleonora Sad Assis, Dr^a Luciana Aparecida Netto Jesus e Dr^o Marco Antônio Cypreste Romanelli, pelas contribuições fundamentais para o aprimoramento e resultado final deste estudo. Não obstante registro a minha gratidão a Deus e aos meus pais, então namorado/noivo, familiares e amigos (em especial os do LPP) que me deram a forma mais completa de apoio para além dos ensinamentos acadêmicos, necessário a qualquer bom profissional.

RESUMO

De acordo com a admissibilidade máxima da absorptância solar de paredes externas (PE) para a Zona Bioclimática 8 (ZB8), a NBR 15.575-4:2013 classifica edificações com todas as fachadas pretas com desempenho térmico satisfatório para cidades de clima quente, desde que se respeite a uma transmitância térmica máxima ($U_{\text{máx}}$). Assim, esta dissertação objetivou avaliar as não-conformidades das propriedades térmicas de desempenho da ZB8 da NBR 15.575-4 com índices de conforto térmico adaptativo por orientação, visando descobrir os intervalos de transmitância térmica (U) e absorptância solar (α) de paredes externas que sejam capazes de prover conforto térmico satisfatório. Esta dissertação teve seu campo de abrangência delimitado aos edifícios residenciais verticais multifamiliares na ZB8, exemplificados pelos construídos mais recentemente pelas principais incorporadoras na cidade de Vitória (ES) conforme o 31º Censo Imobiliário da Grande Vitória do Sindicato da Indústria da Construção Civil no Estado do Espírito Santo. Mais especificamente, o recorte desta pesquisa se delimitou aos fechamentos opacos (análise das suas propriedades térmicas: transmitância térmica e absorptância solar da ZB8) e às paredes externas (subsídio para simulações das propriedades térmicas e análise desses elementos especificamente na construção civil de Vitória). A amostra foi definida por quatro paredes externas (duas de Vitória e duas com os parâmetros máximos de U da NBR 15.575-4) e seis ou dez α (conforme α máximo da NBR 15.575-4 do U / PE). Foram feitas 512 simulações no programa *DesignBuilder* de uma sala com duas paredes externas, definindo os cenários de simulação com e sem ocupação pelas oito combinações de orientações possíveis dos pontos cardeais. As 8.760 temperaturas operativas horárias de cada simulação foram trabalhadas considerando o percentual de 80% de conforto adaptativo da ASHRAE 55. Os resultados foram analisados tendo como referência de comparação os parâmetros da NBR 15.220-3:2005 e foram embasadas nos índices de conforto: Frequência de Desconforto Térmico (FDT), Quantidade de Horas de Desconforto Térmico (QHDT) e Graus-horas de Desconforto Térmico (GhDT). Verificou-se que os parâmetros térmicos da NBR 15.575-4 de forma isolada não atendem aos índices de conforto térmico adaptativo. As duas NBR aceitam que todas as paredes externas sejam pretas (α de 100%), porém a NBR 15.575-4 se revela até 2,5 vezes mais permissiva por permitir cores mais escuras para um mesmo U , apresentando resultados com maior incompatibilidade com os índices de conforto para todos os cenários. A diferença de se atender à NBR 15.575-4 em vez de à NBR 15.220-3 pode chegar a 5,97 graus-horas por hora de desconforto médios (cerca de $\frac{1}{4}$ a mais que o permitido) durante aproximadamente dois meses no ano. Os parâmetros do critério 2 da NBR 15.575 ($U \leq 2,50 \text{ W/m}^2\text{K}$, $\alpha_{\text{máx}} 1,00$) apresentam resultados ainda piores que os do critério 1 ($U > 2,50 \text{ W/m}^2\text{K}$, $\alpha_{\text{máx}} 0,60$). Conclui-se que o preterimento das diretrizes construtivas da zona bioclimática é de suma relevância para o pior desempenho das paredes externas que atendem aos parâmetros da NBR 15.575-4 em vez de os da NBR 15.220-3, porém novos estudos precisam ser feitos considerando todas as estratégias bioclimáticas indicadas nesta para ZB8. Nesse sentido, compilou-se como contribuição para a cidade de estudo os horários do mês por combinação de orientação com desconforto para Vitória – servindo como subsídio para aplicação dessas estratégias e em particular para dimensionamento de dispositivos de sombreamento.

Palavras-chave: propriedades térmicas; NBR 15.575; paredes externas; índices de conforto térmico; absorptância solar.

ABSTRACT

According to the maximum admissibility of the solar absorption of external walls (PE) for Bioclimatic Zone 8 (ZB8), the NBR 15.575-4:2013 classifies buildings with all black facades with satisfactory thermal performance for cities with hot weather, provided that it respects to a maximum thermal transmittance (U_{max}). Thus, this dissertation aimed to evaluate the nonconformities of the thermal performance properties of the NBR 15.575-4 ZB8 with indexes of adaptive thermal comfort by orientation, in order to find out the ranges of thermal transmittance (U) and solar absorptivity (α) of external walls that are capable of providing satisfactory thermal comfort. This dissertation had its field of delimitation delimited to vertical residential buildings multifamily in ZB8, exemplified by the most recently constructed by the main developers in the city of Vitória (ES) according to the 31^o Censo Imobiliário da Grande Vitória of the Sindicato da Indústria da Construção Civil no Estado do Espírito Santo. More specifically, this research was limited to opaque closures (analysis of its thermal properties: thermal transmittance and solar absorptivity of ZB8) and external walls (subsidy for simulations of thermal properties and analysis of these elements specifically in the construction of Vitória). The sample was defined by four external walls (two of Vitória and two with the maximum parameters of U of NBR 15.575-4) and six or ten α (according to the maximum of NBR 15.575-4 of U / PE). 512 simulations were done in the DesignBuilder program of a room with two exterior walls, defining the simulation scenarios with and without occupation by the eight combinations of possible orientations of the cardinal points. The 8,760 hourly operating temperatures of each simulation were worked considering the 80% percentage of adaptive comfort of the ASHRAE 55. The results were analyzed having as reference of the parameters of the NBR 15.220-3:2005 and were based on comfort indexes: Frequency of Discomfort (DFT), Number of Hours of Thermal Discomfort (QHDT) and Degrees-hours of Thermal Discomfort (GhDT). It was verified that the thermal parameters of NBR 15.575-4 in isolation do not meet the indices of adaptive thermal comfort. The two NBRs accept that all external walls are black (α of 100%), but NBR 15.575-4 reveals up to 2.5 times more permissive to allow darker colors for the same U , presenting results with greater incompatibility with comfort indexes for all scenarios. The difference from meeting NBR 15.575-4 instead of NBR 15.220-3 can reach 5.97 degree-hours per hour of average discomfort (about $\frac{1}{4}$ more than allowed) for approximately two months in the year. The parameters of criterion 2 of NBR 15.575 ($U \leq 2.50 \text{ W} / \text{m}^2.\text{K}$, $\alpha \text{ max } 1.00$) present even worse results than those of criterion 1 ($U > 2.50 \text{ W} / \text{m}^2.\text{K}$, $\alpha \text{ max } 0.60$). It is concluded that the preterm construction guidelines of the bioclimatic zone are of great relevance for the worst performance of the external walls that meet the parameters of NBR 15.575-4 instead of those of NBR 15.220-3, but new studies need to be done considering all the bioclimatic strategies indicated in this for ZB8. In this sense, it was compiled as a contribution to the city of study the schedules of the month by combining orientation with discomfort for Vitória - serving as a subsidy for the application of these strategies and in particular for sizing device shadowing.

Keywords: thermal properties; NBR 15.575; external walls; thermal comfort indexes; solar absorption.

LISTA DE SIGLAS E SÍMBOLOS

1ON	Combinação de orientações: janela - Oeste; e parede cega - Norte
2NL	Combinação de orientações: janela - Norte; e parede cega - Leste
3LS	Combinação de orientações: janela - Leste; e parede cega - Sul
4SO	Combinação de orientações: janela - Sul; e parede cega - Oeste
5NO	Combinação de orientações: janela - Norte; e parede cega - Oeste
6OS	Combinação de orientações: janela - Oeste; e parede cega - Sul
7SL	Combinação de orientações: janela - Sul; e parede cega - Leste
8LN	Combinação de orientações: janela - Leste; e parede cega - Norte
A	Área
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ASHRAE	American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers
c	Calor específico
ct	Conforto térmico
CT	Capacidade térmica do elemento construtivo
CO	Combinação de orientações (solares)
cta	Conforto térmico adaptativo
DB	<i>DesignBuilder</i>
dt	Desempenho térmico
DT	Desconforto térmico
DTc	Desconforto térmico por calor
DTf	Desconforto térmico por frio
e	Espessura
FDT	Frequência de desconforto térmico
GhDT	Graus-horas de Desconforto Térmico
GhDT máx	Graus-horas de Desconforto Térmico máximos
hse	Condutância térmica superficial externa
hsi	Condutância térmica superficial interna
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IC	Índices de conforto
ICT	Índices de conforto de térmico
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
IDT	Intensidade de Desconforto Térmico
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia
L	Leste

LabEEE	Laboratório de Eficiência Energética em Edificações
N	Norte
NBR	Norma Brasileira
O	Oeste
PE	Parede externa
PI	Parede interna
q	Fluxo de calor que chega no ambiente interno advindo do meio externo
Q	Fluxo de calor que incide na parede externa
QHDT	Quantidade de Horas de Desconforto Térmico
QHDT máx	Quantidade de Horas de Desconforto Térmico máxima]
R	Resistência térmica
Rs	Resistência térmica superficial
RS	Radiação solar
Rse	Resistência térmica superficial externa
Rsi	Resistência térmica superficial interna
Rt	Resistência térmica da parede
RT	Resistência térmica total
S	Sul
SINDUSCON	Sindicato da Indústria da Construção Civil no Estado do Espírito Santo
T.O.	Temperatura operativa
T.O.h	Temperatura operativa horária
T.O. mín	Temperatura operativa mínima de conforto térmico
T.O. máx	Temperatura operativa máxima de conforto térmico
U	Transmitância térmica
U.A.	Unidades autônomas
Uc	Transmitância térmica calculada nesta dissertação conforme NBR 15.220-2
Udb	Transmitância térmica calculada pelo <i>DesignBuilder</i>
Umáx	Transmitância térmica máxima
Umín	Transmitância térmica mínima
ZB8	Zona Bioclimática 8
α	Absortância solar
α máx	Absortância solar máxima
α mín	Absortância solar mínima
ρ	Densidade de massa aparente
φ	Atraso térmico

Nota: siglas não possuem plural

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	Objetivo	6
1.2	Justificativas	6
1.3	Estrutura	7
2	REFERENCIAL TEÓRICO	9
2.1	Comportamento térmico edifício e suas propriedades	9
2.2	Normas Brasileiras de Desempenho Térmico	14
2.2.1	NBR 15.575: procedimentos e críticas	14
2.2.2	NBR 15.220: critérios adicionais, estratégias e cartas bioclimáticas	18
2.3	Conforto Térmico: conceito, modelos e índices	23
3	MÉTODO DA PESQUISA	27
3.1	Método das simulações	43
3.1.1	Ambiente e edifício modelo	43
3.1.2	Dados de entrada	45
3.1.3	Simulações (procedimento)	50
3.1.3.1	Obtenção dos índices de conforto	52
3.1.3.2	Representação e avaliação dos resultados	57
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	59
4.1	Normas de Desempenho	59
4.2	Paredes utilizadas em obras residenciais de Vitória	61
4.2.1	Incorporadoras e unidades em produção	61
4.2.2	Identificação e caracterização das paredes	63
4.2.3	Transmitância térmica das paredes mais utilizadas x desempenho térmico	66
4.3	Simulações	69
4.3.1	Seleção da amostra das paredes externas e interna e dados de entrada	69
4.3.2	Absortâncias solares máximas (NBR 15.220) e intervalos de absortância	72
4.3.3	Esquema das simulações e temperaturas operativas horárias trabalhadas	73

4.4	Análises desempenho x conforto térmico	77
4.4.1	Frequência de Desconforto Térmico (FDT)	77
4.4.2	Graus-horas de Desconforto Térmico (GhDT)	80
4.4.3	Ratificação dos resultados	83
4.4.4	Classificação das combinações de orientações por desconforto térmico	84
4.4.5	Compreensão dos resultados	86
4.4.5.1	Piores e melhores desconfortos térmicos por calor: simulação e NBR 15.575 ..	86
4.4.5.2	Leste x Oeste e Norte x Sul	93
4.4.6	Análise detalhada entre as normas de desempenho: QHDT e GhDT	100
4.4.6.1	Combinação de orientações 5NO	101
4.4.6.2	Combinação de orientações 8LN	102
4.4.6.3	Combinação de orientações 1ON	103
4.4.6.4	Combinação de orientações 3LS	104
4.4.6.5	Combinação de orientações 6OS	105
4.4.6.6	Combinação de orientações 7SL	106
4.4.6.7	Combinação de orientações 2NL	107
4.4.6.8	Combinação de orientações 4SO	108
4.4.6.9	Compilação e análise	109
4.5	Contribuição para Vitória: horas por mês de desconforto térmico da parede típica da cidade por combinação de orientações	117
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	122
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	129
	APÊNDICES	134
	ANEXOS	147

1 INTRODUÇÃO

As normas de desempenho surgem no Brasil em função de um contexto global. Primeiramente, com a crise energética da década de 1970, gerou-se um cenário de alarde da necessidade de se restringir o consumo de energia no setor da construção civil, visto sua expressiva representatividade no gasto de energia global – atualmente estimado em 40% (BREJNROD et al, 2017). Com isso, a conscientização pública sobre as mudanças climáticas em função dos impactos ambientais causados pela ação humana foi se fortalecendo, culminando na década de 1990 no reconhecimento da necessidade de mudanças na forma de projetar, construir e operar os edifícios (HAAPIO; VIITANIEMI, 2008).

Em decorrência desse cenário, surgem os primeiros sistemas de avaliação e classificação dos impactos ambientais e de desempenho dos edifícios, cujo foco inicial era redução da energia operacional (BREJNROD et al, 2017). Com esse perfil, surgem as primeiras legislações de edificações, como *Energy Performance of Buildings Directive in the European Union* (EUROPA) em 2010. Porém, com o passar dos anos e com a intensificação de pesquisas na área, passou-se a entender o desempenho ambiental das edificações de uma maneira mais holística – o que desencadeou em pensamentos como o do ciclo de vida do edifício, introduzido em 2013 (U.S. GREEN BUILDING COUNCIL, 2018).

No que se refere ao contexto nacional brasileiro, surgem as normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) relacionadas ao desempenho térmico vigentes no país: Norma de Desempenho Térmico de Edificações (NBR 15.220), em 2005; e Norma de Edificações Habitacionais – Desempenho (NBR 15.575), aprovada em 2008 e revisada em 2013.

A NBR 15.220 (ABNT, 2005a; 2005b; 2005c; 2005d; 2005e), focada em habitações unifamiliares de interesse social, divide-se em cinco partes:

1. Definições, símbolos e unidades;
2. Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações;
3. Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social;
4. Medição da resistência térmica e da condutividade térmica pelo princípio da placa quente protegida;
5. Medição da resistência térmica e da condutividade térmica pelo método fluximétrico.

Já a NBR 15.575:2013 aborda desempenho de edificações residenciais de até cinco pavimentos. Com a aprovação dessa norma, a NBR 15.220:2005 se manteve vigente (ABNT, [2018]), ressaltando que a parte de desempenho térmico da NBR 15.575:2013 é mais simplificada do que a NBR 15.220:2005. Assim, a NBR 15.575:2013 traz alguns critérios e

requisitos térmicos “atualizados”¹, porém também referencia a NBR 15.220:2005 para os demais parâmetros e processos de desempenho. A NBR 15.575 (ABNT, 2013a; 2013b; 2013c; 2013d; 2013e; 2013f) se divide em seis partes, porém apenas as partes 1, 4 e 5 abordam o desempenho térmico:

1. Requisitos gerais;
2. Requisitos para os sistemas estruturais;
3. Requisitos para os sistemas de pisos internos;
4. Sistemas de vedações verticais externas e internas;
5. Requisitos para sistemas de coberturas;
6. Sistemas hidrossanitários.

Desde que a NBR 15.575:2013 foi lançada em sua primeira versão, muitas pesquisas têm questionado a não-coerência dos valores de seus parâmetros de desempenho térmico frente aos índices de conforto térmico e aos requisitos estabelecidos na NBR 15.220:2005.

Santo, Alvarez e Nico-Rodrigues (2013) mostram a não-conformidade entre desempenho e conforto térmico pontuando que a simplificação da análise das normas de desempenho vigentes no Brasil, NBR 15.220:2005 e NBR 15.575:2013, somada à correlação com índices de conforto inadequados tornam seus critérios de avaliação vulneráveis e inapropriados. Oliveira, Souza e Silva (2017) ratificam que os critérios da NBR 15.575:2013 são insuficientes para garantir condições de conforto térmico. Os autores defendem que as normatizações brasileiras de desempenho precisam ser aprimoradas.

Ferreira, Souza e Assis (2017) sugerem uma revisão do método de avaliação de desempenho térmico a fim de sanar as incompatibilidades entre os requisitos normativos (principalmente da NBR 15.575:2013) e as condições de conforto térmico de alguns contextos climáticos. Para isso, os referidos autores citam que seria preciso uma redefinição principalmente da transmitância térmica da envoltória das paredes externas, uma vez que seus valores revelaram estar superestimados – o que não aconteceu com os das coberturas. Os autores complementam que, em relação à absorptância solar, a NBR 15.575:2013 não poderia admitir valores maiores que 0,60 para qualquer localidade das Zonas Bioclimáticas 6, 7 e 8, pois as superfícies escuras em locais de clima quente comprometem significativamente as condições de conforto térmico.

Bogo (2016) também recomenda a atualização das normas de desempenho térmico, sugerindo, no entanto, que primeiro sejam feitas análises críticas sobre seus conteúdos. Em

¹ A “atualização” utilizada se restringe à ordem cronológica dos anos, uma vez que a NBR 15.575 é de 2013 e a NBR 15.220 de 2005 e que as duas normas são vigentes.

seu estudo, o autor aponta uma limitação ainda maior nos critérios de transmitância e capacidade térmicas da NBR 15.575:2013 em relação à NBR 15.220:2005, em detrimento do aprimoramento desses parâmetros pré-existentes. Assim, apesar de os requisitos da NBR 15.220-3:2005 serem mais adequados para a obtenção de conforto térmico, eles também possuem suas não-conformidades.

Oliveira, Silva e Pinto (2014) criticam os critérios da NBR 15.220:2005, pois, ao analisarem os requisitos de fator solar, transmitância e atraso térmicos dessa norma em relação ao conforto térmico, chegam a uma série de alternativas que propiciam conforto, mas não são abrangidas na norma. Além disso, os autores demonstram que existem valores recomendados na NBR 15.220:2005 que não são passíveis de alcançar os índices de conforto térmico adaptativo.

Esta pesquisa trata das partes 1 a 3 da NBR 15.220 (ABNT, 2005a; 2005b; 2005c) e 1 e 4 da NBR 15.575 (ABNT, 2013a; 2013d), contendo essa última os questionamentos centrais da pesquisa. Sobre esta, a NBR 15.575-4 (ABNT, 2013d) aborda os requisitos de dois itens: adequação de paredes externas e aberturas para ventilação, sendo que cada item desse possui seus critérios.

Em relação ao item de adequação das paredes externas, foco da problemática, ele se divide em dois critérios: transmitância e capacidade térmica de paredes externas. Cada critério possui os requisitos (ou parâmetros) de adequabilidade à norma para suas propriedades térmicas das paredes externas, ressaltando que o critério de transmitância térmica (U) também apresenta requisitos para a absorptância solar (α) (TAB. 1). Acrescenta-se que os requisitos térmicos de adequação das paredes externas da NBR 15.575-4 são agrupados por zonas bioclimáticas com características em comum (TAB. 1) e são apresentados de forma e com valores diferentes em relação aos parâmetros pré-existentes da NBR 15.220-3 (ABNT, 2005c).

Tabela 1 – Requisitos dos critérios de transmitância e capacidade térmica da NBR 15.575-4 e suas zonas bioclimáticas

TRANSMITÂNCIA TÉRMICA (U) W/m ² .K		CAPACIDADE TÉRMICA kJ/m ² .K	
Zonas 1 e 2	Zonas 3 a 8	Zonas 1 a 7	Zona 8
U ≤ 2,50	$\alpha^1 \leq 0,60$	≥ 130	Sem requisito
	U ≤ 3,70		
	$\alpha^1 > 0,60$		
	U ≤ 2,50		

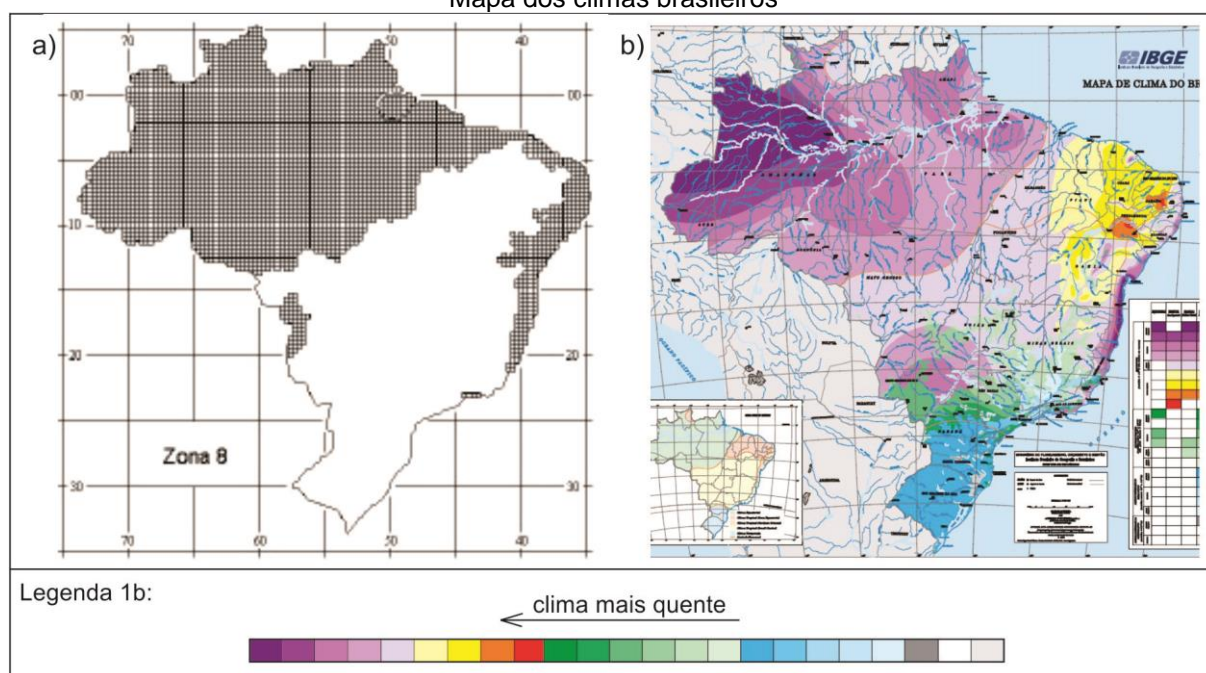
¹ absorptância solar da superfície externa da parede

Fonte: ABNT, 2013d, p. 27, adaptações da autora.

Conforme dados apresentados na TAB. 1, nota-se que a NBR 15.575-4 traz uma combinação destacável de requisitos para as paredes externas da Zona Bioclimática 8 (ZB8 – FIG. 1a): sem exigência de capacidade térmica e admissibilidade de 100% para α , uma vez que a norma

aceita α maior que 0,60 dependendo da transmitância da parede externa. Assim, tem-se a problemática central deste trabalho: segundo a NBR 15.575-4 (ABNT, 2013d), é possível que edificações residenciais com todas as fachadas pretas ($\alpha = 1,00$) nas cidades de climas mais quentes do país sejam classificadas com desempenho térmico adequado, desde que se respeite $U_{máx}$ de $2,5 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$. A despeito disso, a ZB8 é a zona que coincide com as regiões mais quentes do Brasil² pela classificação do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 1978³), conforme as áreas roxas da FIG. 1b.

Figura 1 – Comparação da Zona Bioclimática 8 com regiões de clima quente no Brasil. a) ZB8; b) Mapa dos climas brasileiros



Fonte: a) ABNT, 2013a, p. 44; b) IBGE, 1978⁴, s/ p., adaptações da autora.

Já a NBR 15.220-3 (ABNT, 2005c) requer paredes leves refletoras ($U \leq 3,60 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$) e um fator solar máximo de 4,00 para a ZB8. Isso representa, de acordo com estudos preliminares utilizando a FÓRM. 1, um α máx de 0,40, considerando $U = 2,50 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ – como um dos requisitos máximos da NBR 15.575-4 exposto na TAB. 1. Porém, na NBR 15.575-4 o α máx para esse mesmo U é de 1,00 – valor 2,5 vezes maior do que o da NBR 15.220-3 (QUAD. 1, no qual RS representa a radiação solar).

² Temperatura média maior do que 18°C em todos os meses (IBGE, 1978).

³ Disponível em: <ftp://geofp.ibge.gov.br/informacoes_ambientais/climatologia/mapas/brasil/clima.pdf>. Acesso em: 03 fev. 2018.

⁴ Disponível em: <ftp://geofp.ibge.gov.br/informacoes_ambientais/climatologia/mapas/brasil/clima.pdf>. Acesso em: 03 fev. 2018.

$$\alpha = \frac{FS_o}{4.U} \quad (1)$$

Onde:

α = absorptância solar da superfície externa da parede da fachada;

FS_o = fator solar de elementos opacos (%);

U = transmitância térmica ($W/m^2.K$).

Quadro 1 – Diferença nos limites máximos de absorptância solar para uma mesma transmitância térmica entre as NBR's 15.220-3 e 15.575-4

(2005) NBR 15.220-3 $U \leq 3,60 W/m^2.K$ Para $U = 2,50 W/m^2.K$: $\alpha \leq 0,40$	(2013) NBR 15.575-4 $U \leq 3,70 W/m^2.K$ $\alpha \leq 1$

Fonte: A autora, 2019.

Assim, a admissibilidade de paredes com alta absorptância (“muito escuras”) em cidades de clima quente da NBR 15.575-4 suscita questionamentos quanto à correspondência dos requisitos de absorptância solar e da transmitância térmica no que concerne às suas condições de propiciar conforto térmico. O que intensifica ainda mais esse questionamento é o fato de os requisitos de absorptância das paredes externas da ZB8 terem tido expressiva mudança numérica que remetem a uma piora no nível de desempenho térmico da NBR 15.575-4 em relação à NBR 15.220-3.

Em suma, detecta-se que os requisitos do critério de transmitância térmica da NBR 15.575-4 não propiciam desempenho condizente com o da NBR 15.220-3 nem com a criação de condições de conforto térmico satisfatórias. Ademais, a NBR 15.220-3, que possui seus valores melhor definidos do que os da NBR 15.575-4, também apresenta desempenho térmico não-conforme em relação ao provimento de condições conforto ambiental. Isso incita questionamentos sobre quais seriam os parâmetros normativos adequados de absorptância solar e transmitância térmica das paredes externas de modo que os cenários gerados por essas propriedades térmicas atendem aos parâmetros de conforto térmico adaptativo. Além disso, questiona-se como é a relação dessa possível compatibilidade de desempenho com

conforto térmico entre a NBR 15.575-4 e a NBR 15.220-3 e, direcionando a problemática para o local de estudo, se as paredes mais utilizadas recentemente na construção civil de Vitória (ES) atendem aos critérios de desempenho e conforto térmico adaptativo.

1.1 Objetivos

A pesquisa teve como objetivo geral avaliar as não-conformidades das propriedades térmicas de desempenho da ZB8 da NBR 15.575-4 com índices de conforto térmico adaptativo, visando identificar os intervalos de transmitância térmica e absorvância solar de paredes externas capazes de prover conforto térmico satisfatório por orientação. Os objetivos específicos correlacionados foram:

1. Selecionar os parâmetros de U e α da ZB8 da NBR 15.575-4 como amostras paramétricas da pesquisa;
2. Selecionar as paredes mais utilizadas recentemente na construção civil residencial de Vitória com desempenho térmico satisfatório como amostras reais da pesquisa;
3. Obter as temperaturas operativas horárias (T.O.h) com e sem ocupação dos cenários selecionados e definir as T.O.h. mínima e máxima de referência;
4. Identificar intervalos de U e α (ZB8) das NBR 15.575-4 e 15.220-3 por orientação solar compatíveis com índices de conforto térmico ambiental (cta);
5. Validar os resultados;
6. Identificar as não conformidades de U e α (ZB8) da NBR 15.575-4 por combinação de orientações (CO) em relação a índices de conforto térmico ambiental;
7. Identificar as horas de desconforto térmico (DT) de cada mês da parede mais representativa de Vitória.

1.2 Justificativas

A proposição de elementos construtivos e de requisitos térmicos que possuam desempenho compatíveis com condições de conforto adaptativo ambiental se motiva pelo defendido por Frota e Schiffer (2003, p. 15) de que

A Arquitetura deve servir ao homem e ao seu conforto, o que abrange o seu conforto térmico. O homem tem melhores condições de vida e de saúde quando seu organismo pode funcionar sem ser submetido a fadiga ou estresse, inclusive térmico. A Arquitetura, como uma de suas funções, deve oferecer condições térmicas compatíveis ao conforto térmico humano no interior dos edifícios, sejam quais forem as condições climáticas externas.

Assim, a pesquisa se justifica de maneira geral por:

- O conforto ambiental ser essencial à saúde, bem-estar e qualidade de vida das pessoas (FROTA; SCHIFFER, 2003);
- O conforto ambiental provido aos seus ocupantes ser uma das funções centrais de um edifício, que interfere no consumo energia mais ajustado às necessidades humanas - melhor eficiência energética edilícia (YUN, 2018);
- As normas de desempenho brasileiras serem associadas com índices de conforto térmico inadequados para as condicionantes climáticas da ZB8, cujo clima é quente e úmido (SANTO; ALVAREZ; NICO-RODRIGUES, 2013);
- Os parâmetros normativos de desempenho serem subsídios técnicos na escolha adequada dos elementos construtivos que compõem as edificações;

Além disso, têm-se as motivações mais peculiares ao objeto da pesquisa:

- A absorvância solar é juntamente com a ventilação natural a variável que mais influencia no conforto térmico das vedações verticais na Zona Bioclimática 8 (FERREIRA; SOUZA; ASSIS, 2017);
- A ZB8 é a zona mais representativa do país com 53,7% do território brasileiro entre as oito zonas bioclimáticas da NBR 15.220-3 (ABNT, 2013a);
- Não existe controle efetivo local de que as paredes utilizadas na construção civil atendam aos padrões estabelecidos de desempenho e de capacidade de propiciar conforto ambiental;
- Das 9 capitais estudadas da ZB8 estudadas por Lamberts, Dutra e Pereira (2014), cinco possuem percentual de desconforto térmico por frio;
- Vitória (ES) possui 82% de desconforto durante o ano, sendo 64% relacionado ao calor; e 18%, ao frio (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014).

Acrescenta-se que a proposição de parâmetros almejada tem intuito de aprimorar o método de avaliação de desempenho térmico da NBR 15.575-1 (ABNT, 2013a), identificado como simplificado (ou prescritivo). O método simplificado, ainda que criticado frente ao método de simulação, é de suma importância, pois auxilia no referencial para utilizações mais rápidas e práticas desses dados – como na especificação de elementos construtivos adequados no mercado da construção civil.

1.3 Estrutura

A dissertação foi dividida em cinco capítulos, cada um estruturado da seguinte forma:

- **Introdução (capítulo 1):** é apresentada a problemática térmica de admissibilidade da NBR 15.575-4 em relação às cores das fachadas em cidades de clima quente,

expondo também o contexto em que se insere, as justificativas da abordagem e os objetivos da pesquisa;

- **Referencial teórico (capítulo 2):** subsídio científico da pesquisa, provendo o estado da arte e diretrizes para a metodologia da pesquisa nos seguintes temas: (a) propriedades térmicas de fechamentos opacos; (b) críticas aos procedimentos e aos requisitos de transmitância térmica, absorptância e fator solar de elementos opacos estabelecidos nas normas brasileiras de desempenho térmico, destacando diferenças da NBR 15.220-3 para a NBR 15.575-4; e (c) conforto térmico, focando no modelo adaptativo da ASHRAE 55 e nos índices de conforto térmico pré-selecionados;
- **Metodologia da Pesquisa (capítulo 3):** exposição do campo de abrangência e do mapa metodológico da pesquisa, relacionando as etapas metodológicas com os procedimentos e com os resultados respectivos. Cada etapa corresponde a um objetivo específico e cada procedimento realizado para alcançar os objetivos da pesquisa foi detalhado. Além disso, neste item são descritas as metodologias específicas do cálculo de transmitância térmica de paredes externas não-existentes no Catálogo de Propriedades Térmicas do Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO) e a das simulações utilizada;
- **Resultados e Discussões (capítulo 4):** apresentação e discussão dos resultados necessários para alcançar os objetivos específicos e consequentemente o objetivo geral da pesquisa, cuja ordem de exposição segue o apresentado no mapa metodológico da pesquisa (capítulo anterior);
- **Considerações finais (capítulo 5):** síntese e discussão do panorama geral da pesquisa e dos principais resultados propostos de acordo com os objetivos específicos e geral; reforço das contribuições da pesquisa; e indicação de proposta de trabalhos que complementem os resultados deste.

Além disso, ao final têm-se apêndices e anexos que são referenciados e que completam o recorrido ao longo da dissertação. Alguns apêndices são digitais, disponíveis no link <https://marianavallory.wixsite.com/arquitetura>.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Este capítulo se divide em três partes principais:

- **Comportamento térmico edifício e suas propriedades:** introduz o capítulo esclarecendo e diferenciando os termos e propriedades térmicas utilizados acerca do comportamento térmico das edificações, mostrando suas abordagens na pesquisa;
- **Normas Brasileiras de Desempenho Térmico:** traz o estado da arte acerca dos procedimentos metodológicos da NBR 15.575-1 e as críticas científicas dos parâmetros de transmitância térmica e absorvância solar das NBR's 15.220-3 e 15.575-4, reforçando a problemática e subsidiando a definição da metodologia da pesquisa. Além disso, apresenta os critérios e estratégias adicionais da NBR 15.220-3 em relação à NBR 15.575-4;
- **Conforto Térmico: conceito, modelos e índices:** finaliza o capítulo com a exposição de conceito e dos modelos de conforto térmico, focando nos debates relacionados ao modelo adaptativo da ASHRAE (2013) e ao índice de conforto térmico contemplados nesta pesquisa.

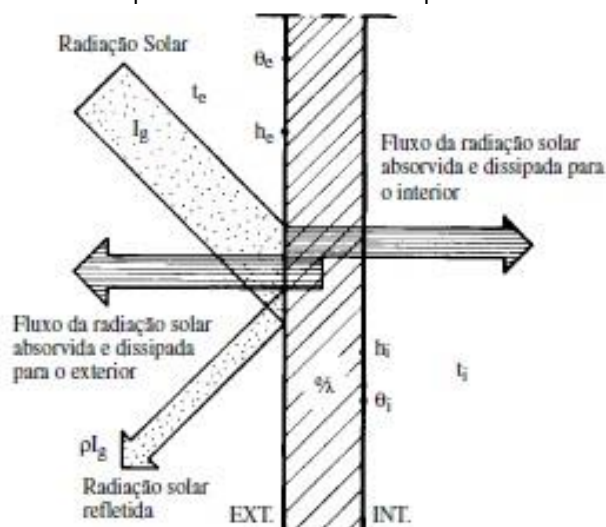
2.1 Comportamento térmico edifício e suas propriedades

O comportamento térmico dos ambientes internos de uma edificação é resultante da intensidade da radiação solar incidente na sua envoltória e das características térmicas dos seus materiais e componentes construtivos (FROTA; SCHIFFER, 2003). As propriedades térmicas destes subsidiam as definições de parâmetros adotados nas normas de desempenho.

Nesta dissertação, adotou-se que “envoltória” de uma edificação compreende todas as paredes externas e a cobertura. Já o termo “parede externa” (PE) faz menção à parede da fachada: fechamento opaco e transparente. Além disso, existem dois tipos de propriedades térmicas: a dos materiais e a dos elementos construtivos (ABNT, 2005). Assim, conforme os objetivos apresentados, a cobertura não faz parte do escopo desta pesquisa e os fechamentos transparentes e as propriedades térmicas específicas dos materiais foram utilizados de forma complementar para realização das etapas metodológicas trabalhadas. A seguir são esclarecidas as definições das propriedades térmicas das paredes externas abordadas de forma direta: transmitância térmica e absorvância solar.

Em fechamentos opacos, como pontuam Lamberts, Dutra e Pereira (2014, p. 197), “[...] a transmissão de calor acontece quando há uma diferença de temperatura entre suas superfícies interior e exterior”. Os autores completam que “O sentido do fluxo de calor será sempre da superfície mais quente para a mais fria”. As trocas de calor são exemplificadas na FIG. 2, tendo como fonte de calor a radiação solar (temperatura externa maior).

Figura 2 – Trocas de calor em fechamentos opacos com temperatura externa maior do que a interna.



Fonte: FROTA; SCHIFFER, 2003, p.42.

De acordo com a NBR 15.220-1 (ABNT, 2005a), a transmitância térmica (ou coeficiente global de transferência de calor), representada pela letra U^5 ,

engloba as trocas térmicas superficiais (por convecção e radiação) e as trocas térmicas através do material (por condução). Portanto, engloba as trocas de calor referentes a um determinado material segundo a espessura da lâmina, o coeficiente de condutibilidade térmica, a posição horizontal ou vertical da lâmina e, ainda, o sentido do fluxo. O coeficiente [...] U quantifica a capacidade do material de ser atravessado por um fluxo de calor induzido por uma diferença de temperatura entre dois ambientes que o elemento constituído por tal material separa [...] (FROTA; SCHIFFER, 2003, p.38).

Assim, a transmitância térmica, que é expressa pela unidade $W/m^2.K$, é uma propriedade que mede a transmissão de calor em unidade de tempo de um elemento ou componente construtivo, induzido pela diferença de temperatura entre a superfície interna e a superfície externa (ABNT, 2013a). Além disso, U é o inverso da resistência térmica total (R_T - ABNT, 2005a). Esta, que corresponde à dificuldade de transmissão de calor, advém de um somatório de resistências térmicas do elemento ou componente construtivo com as respectivas resistências superficiais (ABNT, 2005b), todas representadas pela unidade de medida $m^2.K/W$:




- Resistência térmica de elementos e componentes (R_t ou apenas R): “Quociente da diferença de temperatura verificada entre as superfícies de um elemento ou componente construtivo pela densidade de fluxo de calor, em regime estacionário” (ABNT, 2005a, p. 2) – na pesquisa é representada pela resistência da parede externa;

⁵ Essa propriedade térmica também é identificada por alguns autores, como por Frota e Schiffer (2003), como “coeficiente global de transmissão térmica”, representado pela letra K .

- Resistência superficial interna (Rsi): “Resistência térmica da camada de ar adjacente à superfície **interna** de um componente que transfere calor por radiação e/ou convecção” (ABNT, 2005a, p. 2);
- Resistência superficial externa (Rse): idem a Rsi, porém relacionada à superfície externa.

Salienta-se nesse contexto que a resistência de um elemento construtivo é definida em função do somatório de resistências de cada uma de suas camadas componentes, que são obtidas pela razão entre espessura (e) e condutividade térmica (λ) de seu material. As condutividades térmicas dos principais materiais de construção são listadas na Tabela B.3 da NBR 15.220-2 (ABNT, 2005b), disponibilizada no Anexo I desta dissertação. Já a espessura é definida de acordo com a conformação/ profundidade da camada no elemento construtivo considerado em relação à passagem do fluxo de calor⁶. Ressalva-se que as resistências do ar também dependem da espessura do mesmo no elemento construtivo e são estabelecidas na NBR 15.220-2 (TAB.2).

Tabela 2 – Resistências do ar de acordo com o tipo de fluxo de calor

Natureza da superfície da câmara de ar	Espessura “e” da câmara de ar cm	Resistência térmica R_{ar} $m^2.K/W$		
		Direção do fluxo de calor		
		Horizontal	Ascendente	Descendente
				
Superfície de alta emissividade $\varepsilon > 0,8$	$1,0 \leq e \leq 2,0$	0,14	0,13	0,15
	$2,0 < e \leq 5,0$	0,16	0,14	0,18
	$e > 5,0$	0,17	0,14	0,21
Superfície de baixa emissividade $\varepsilon < 0,2$	$1,0 \leq e \leq 2,0$	0,29	0,23	0,29
	$2,0 < e \leq 5,0$	0,37	0,25	0,43
	$e > 5,0$	0,34	0,27	0,61
Notas: 1 ε é a emissividade hemisférica total. 2 Os valores para câmaras de ar com uma superfície refletora só podem ser usados se a emissividade da superfície for controlada e previsto que a superfície continue limpa, sem pó, gordura ou água de condensação. 3 Para coberturas, recomenda-se a colocação da superfície refletora paralelamente ao plano das telhas (exemplo C.6 do anexo C); desta forma, garante-se que pelo menos uma das superfícies - a inferior - continuará limpa, sem poeira. 4 Caso, no processo de cálculo, existam câmaras de ar com espessura inferior a 1,0 cm, pode-se utilizar o valor mínimo fornecido por esta tabela.				

Fonte: ABNT, 2005b, p. 8.







Nota: superfícies de alta emissividade ($\varepsilon > 0,8$) – não-metais; e superfícies de baixa emissividade ($\varepsilon < 0,2$) – metais

No que concerne às resistências superficiais, a NBR 15.220-2 também padroniza seus valores conforme a posição do elemento construtivo e o fluxo de calor considerado (TAB. 3). Cabe

⁶ O cálculo e ilustrações respectivas são detalhadas na “Metodologia de cálculo de transmitância térmica”.

pontuar que as resistências superficiais podem ser expressas como condutâncias térmicas superficiais: externa e interna (h_{se} e h_{si}) – que são o inverso de R_{se} e R_{si} respectivamente e expressas $W/m^2.K$. Além disso, destaca-se que para elementos construtivos internos o R_{se} (ou h_{se}) possui o mesmo valor de R_{si} (ou h_{si}), visto que estão suscetíveis a situações climáticas análogas e que não possuem nenhuma das duas faces do elemento construtivo voltada para o exterior (FROTA; SCHIFFER, 2003).

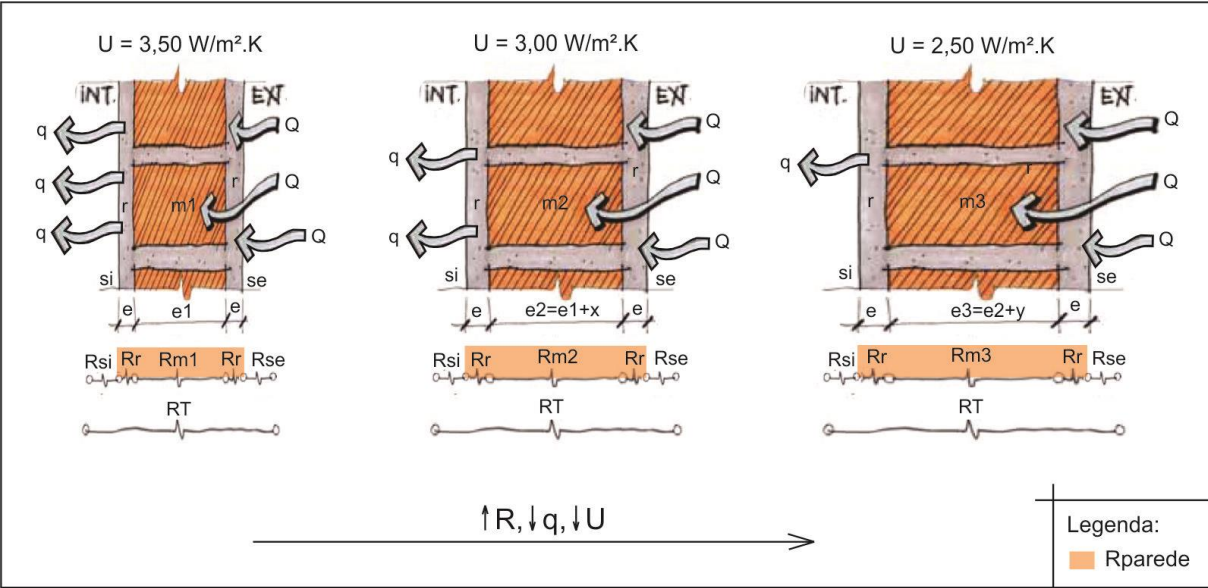
Tabela 3 – padronização das resistências superficiais de elementos construtivos

$R_{si} (m^2.K)/W$			$R_{se} (m^2.K)/W$		
Direção do fluxo de calor			Direção do fluxo de calor		
Horizontal	Ascendente	Descendente	Horizontal	Ascendente	Descendente
					
0,13	0,10	0,17	0,04	0,04	0,04

Fonte: ABNT, 2005b, p. 7.

Assim, quanto maior o conjunto de resistências relacionado ao elemento construtivo analisado, maior a dificuldade de o calor penetrar e fluir pelo elemento e menor o U (FIG. 3). Nesse exemplo, percebe-se que o aumento de R_T à medida que a espessura do seu principal material constituinte (tijolo - m) aumenta, visto que todas as outras variáveis se mantêm iguais – o material tijolo; composição e espessuras (e) do reboco (r); e superfícies interna e externa (si e se respectivamente). Com isso, para um mesmo fluxo de calor incidente na parede externa (Q), o fluxo de calor que chega no ambiente interno advindo do meio externo (q) diminui conforme R aumenta/ U diminui.

Figura 3 – Exemplo de relação da resistência total da parede com o fluxo de calor e transmitância

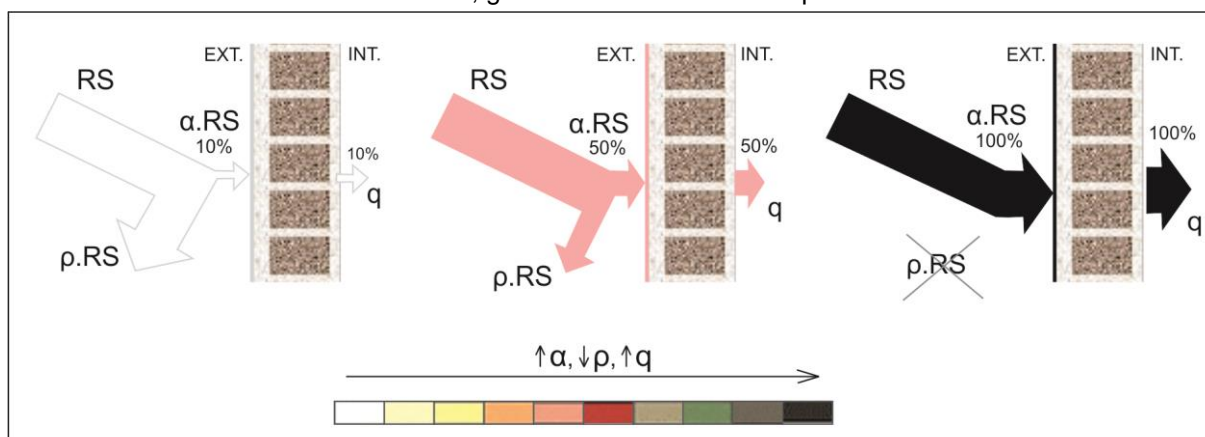


Fonte: A autora, 2019, com base no desenho de LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014, p.213.

A absorptância solar, representada pela letra grega α , é a razão entre a radiação solar (RS) que é **absorvida** e a radiação total incidente nessa mesma superfície (ABNT, 2005a). Desse modo, a absorptância enquanto quociente será em seu valor máximo e quase hipotético igual a 1, sendo assim normalmente expressa em números decimais (de 0,00 a 1), podendo também ser representada em porcentagem (de 0 a 100%). Muitas vezes a absorptância é associada à cor visível da superfície em função da sua propriedade inversa: a refletância solar (ρ). Esta é a razão entre a radiação que é **refletida** e a radiação total incidente nessa mesma superfície (ABNT, 2005a). Com isso e analisando apenas essas propriedades, quanto maior o α da superfície externa, menor é a parcela da radiação refletida e maior o ganho de calor no ambiente interno (q). Na FIG. 4 é apresentado um esquema correlacionando α , ρ , cor e q .

No que concerne à associação de α com cor, é importante alertar que as cores são sensações visuais e variam conforme o observador, por isso essa associação é entendida como não-confiável (DORNELLES, 2008). Todavia, essa simplificação é aceita e utilizada por referências normativas nacionais e internacionais – como pela *American Society of Heating, Refrigerating and Air-conditioning Engineers* (ASHRAE, 2001) e pela NBR 15.220-3 (ABNT, 2005c). Dessa forma, adota-se o padrão de que α é crescente à medida que as cores escurecem.

Figura 4 – Esquema das relações de diferentes absorptâncias solares com as respectivas refletâncias, ganho de calor e cor da superfície.

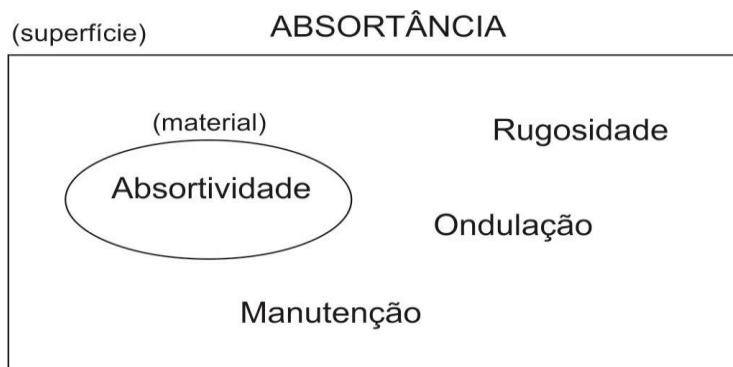


Fonte: A autora, 2019, com base no desenho de LAMBERTS et al, 2016, p.91.

Aprofundando a abordagem, identifica-se que a cor está relacionada com uma das quatro características físicas da superfície levantadas por Dornelles (2008) que interferem na absorptância: a absorptividade do material. A absorptividade se diferencia da absorptância por ser do material e a absorptância da superfície. Assim, a radiação absorvida da superfície analisada (absorptância) depende da capacidade de o material que a compõe de absorver radiação assim como de outras três características físicas da superfície: rugosidade (mm), ondulação (cm) e manutenção (FIG. 5). Observa-se que a absorptividade está relacionada, por exemplo, com a capacidade que a tinta escolhida (material) tem em absorver calor. Já a absorptância em

relação à tinta representa a influência da absorvidade desse material em toda a superfície, sendo que, além disso, a absorvância também depende do tipo de acabamento dessa superfície (se é lisa, rugosa, ondulada, entre outros) e da manutenção da superfície (se está limpa, um pouco ou muito suja, por exemplo).

Figura 5 – Esquema: absorvância e suas características físicas



Fonte: A autora, 2019, com base em DORNELLES, 2008, p. 52-57.

De acordo com o exposto, este subcapítulo tem a relevância de fornecer os conhecimentos conceituais das propriedades térmicas estudadas e de expor a relação de cada uma com o comportamento térmico da edificação, explicando para isso a diferença entre alguns conceitos relacionados. Desse item, também foram extraídos os valores de resistência do ar no elemento construtivo e das resistências superficiais conforme o fluxo de calor considerado. Além disso, foram expostas as siglas de cada propriedade e as unidades de medida utilizadas ao longo da pesquisa, principalmente na exposição dos resultados. Além disso, esse trecho esclarece a relação da absorvância com a cor e quais as suas características constituintes que devem ser definidas no capítulo da metodologia.

2.2 Normas Brasileiras de Desempenho Térmico

2.2.1 NBR 15.575: procedimentos e críticas

Segundo a NBR 15.575-1 (ABNT, 2013a), as edificações residenciais devem ser compostas por elementos construtivos que atenda aos requisitos de desempenho térmico conforme a zona bioclimática da NBR 15.220-3 (ABNT, 2005c) em que se insere. O desempenho da edificação objetiva proporcionar qualidade ao ambiente construído para garantir o conforto aos seus usuários. Manioglu e Yilmaz (2006) mencionam que a envoltória do edifício é determinante para as condições térmicas internas, resultante dos fluxos de calor através de composições de propriedades térmicas e físicas dos materiais e das aberturas.

Para avaliação de desempenho térmico, a NBR 15.575-1 (ABNT, 2013a) estabelece três métodos: simplificado (prescritivo ou normativo), simulação e medição. Os três se aplicam às

paredes externas das edificações, tendo como parâmetro os requisitos e critérios da NBR 15.575-4 (ABNT, 2013b). O método simplificado se baseia na conferência numérica simples entre os valores dos elementos construtivos utilizados com os critérios estabelecidos na norma. O método de simulação compara os valores normativos com os obtidos por dados de saída de simulações computacionais realizadas em programas de performance térmica de ambientes construídos (cenário virtual). Já o de medição, que é considerado como um procedimento complementar, não faz parte do escopo deste estudo, pois não condiz metodologicamente com o objetivo deste estudo.

Nesse contexto, destaca-se que o procedimento simplificado é apontado por ter um grande problema metodológico: o seu método se baseia na transmitância térmica ou na resistência térmica (inverso da transmitância) – ideal para situações em que a temperatura interna se mantenha constante por meio, por exemplo, da climatização artificial do ar. Essa vinculação do método com o requisito de transmitância térmica ignora a radiação solar e a ventilação – por isso, é apontada como um equívoco para edificações naturalmente ventiladas, principalmente para cidades de clima quente, onde a radiação solar incidente nas fachadas é expressiva (FERREIRA; SOUZA; ASSIS, 2017).

Reforçando a não-apropriação do uso de critério de transmitância para cidades de países como o Brasil, Pereira (2009), em sua pesquisa sobre desempenho térmico da envoltória de edificações naturalmente ventiladas em Florianópolis (SC), divulga que a **pior correlação** de parâmetro térmico com o conforto é por intermédio da **transmitância térmica**. Assim, esta não se revela um critério adequado de avaliação de desempenho térmico de edificações com condicionamento de ar passivo em cidades de clima quente, sendo **recomendados** outros tipos de critérios que considerem a incidência da **radiação solar** na fachada – como o da absorptância solar (BARRIOS et al., 2011).

Em relação à fragilidade do método prescritivo, Chvatal (2014) constata, por meio de estudos feitos com o método de simulação, que os intervalos de transmitância térmica e absorptância solar não são representados adequadamente no procedimento prescritivo – o que pode conduzir a uma classificação equivocada de desempenho térmico da edificação.

Já o método de simulação, indicado pela NBR 15.575-1 (ABNT, 2013a) apenas como uma alternativa ao método simplificado, é preferido como procedimento em detrimento do simplificado nas pesquisas científicas por este generalizar bastante seus parâmetros (desconsiderando muitas vezes variáveis importantes dos zoneamentos bioclimático) e por o método de simulação revelar resultados mais condizentes com a realidade (SANTO; ALVAREZ; NICO-RODRIGUES, 2013; FERREIRA; PEREIRA, 2012; FERREIRA; SOUZA; ASSIS, 2017). Porém, o método de simulação da NBR 15.575-1 (ABNT, 2013a) também é

muito criticado pela especificação de seus critérios – a destacar os de: definição de dias a serem considerados; temperatura; ocupação; e ventilação do ambiente. Tais critérios, aplicados para o verão (visto que a norma indica que a ZB8 não precisa ser verificada para o inverno), são recomendados da seguinte forma para a ZB8:

- Definição de dia: “dia típico de projeto, de verão [...]” (ABNT, 2013a, p. 24) - não são definidas datas exatas (como solstícios e equinócios, por exemplo), nem é explicado como se encontra esses dias típicos recomendados;
- Temperatura do ambiente: menor ou igual a temperatura externa máxima para o verão;
- Ocupação dos ambientes: sem ocupação (usuários, lâmpadas e equipamentos);
- Ventilação do ambiente: 1 ren/h.

Nesse sentido, Sorgato, Melo e Lamberts (2013) criticam a NBR 15.575-1 (ABNT, 2013a) por indicar o dia típico para simulação, argumentando que essa diretriz não provém condições suficientes para se avaliar o desempenho da edificação. Isso porque esse método desconsidera as variações do clima, uma vez que os dias típicos são pouco representativos no ano e aconselhados para simulações que envolva condicionamento artificial do ar, nas quais é preciso atender às situações mais desfavoráveis termicamente. Recomendam, assim, a simulação **anual** para situações de condicionamento natural do ar em cidades brasileiras.

Em consonância com o apresentado, Ferreira e Pereira (2012) verificaram que os resultados encontrados considerando dias típicos possuem pouca precisão na análise do desempenho térmico. Soares e Silva (2013) analisaram as prescrições da NBR 15.575 e detectaram que propriedades térmicas da envoltória que não são indicadas para as zonas bioclimáticas estudadas (1, 2 e 3) atenderam ao desempenho mínimo da norma, quando avaliadas pelo dia típico. Dessa forma, em produção sequenciada desses autores (2017) específica para ZB2, foi mostrado que análises feitas com dia típico de verão possibilitam configurações de fechamentos opacos muito além dos limites especificados na norma.

Soares e Silva (2017) também constataram que os parâmetros de temperatura estipulados pela NBR 15.575-1 (ABNT, 2013a) permite uma amplitude muito grande de resultados tidos como conformes por essa norma, mesmo quando o elemento construtivo não apresenta propriedades térmicas compatíveis com a zona analisada. Assim, além da inconsistência no parâmetro de definição das temperaturas pela NBR 15.575-1, os autores apontam incoerência entre os métodos de simulação e prescritivo.

Essa inconsistência na definição dos critérios de temperatura é ratificada por Oliveira et al (2015) ao comparar as temperaturas com base nas diretrizes da NBR 15.575-1 (ABNT, 2013a) com as temperaturas propostas pela ASHRAE 55 (2013), por Givoni (1992) e com as Normais Climatológicas do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 1961-1990) para um

determinado estudo de caso escolhido para desenvolvimento da pesquisa. As temperaturas da NBR (de dias típicos de verão e inverno) se revelaram inapropriadas, incompatíveis com as temperaturas de conforto aplicadas ao contexto brasileiro. Por outro lado, as temperaturas mais condizentes com os dados reais do clima local (INMET, 1961-1990) foram as da **ASHRAE 55** (2013).

Ademais, Soares (2014) complementa comprovando que os parâmetros de aprovação (especialmente os de inverno), assim como aprovam edificações sem condições internas minimamente aceitáveis, reprovam outras em condições bem melhores. Cabe ressaltar que a Norma de Desempenho (ABNT, 2013a) indica que a ZB8 não precisa ser verificada para o frio, em contradição com o que Lamberts, Dutra e Pereira (2014) mostram: de nove capitais da ZB8 apresentadas pelos autores, apenas quatro possuem desconforto por **frio** igual a zero. Os demais valores variam até 18% para a cidade de estudo: **Vitória** (ES).

Sorgato, Melo e Lamberts (2013) defendem que o desempenho térmico de edificações deve ser avaliado considerando um **cenário real de uso** – o que inclui estratégia de ventilação e cargas internas de ocupação e iluminação conforme os condicionantes culturais da região. Os autores criticam também a condição de ventilação normativa recomendada de uma renovação de ar está fora da realidade de uso, subestimando a ventilação natural real durante o verão e prejudicando o desempenho no inverno.

Além disso, Silva et al (2014) detectam na pesquisa que a desconsideração de variáveis importantes na Norma de Desempenho, como velocidade e direção do vento, acarreta em resultados imprecisos, exercendo influência significativa nos resultados de classificação do desempenho térmico.

Conforme o discorrido, esse subcapítulo contribui com os direcionamentos para a metodologia da pesquisa – o que em síntese pode ser compilado da seguinte forma: os parâmetros do método prescritivo precisam ser aprimorados, porém o procedimento para revisão dos requisitos correspondentes deve ser realizado através do método de simulação com os devidos ajustes metodológicos:

- Período: anual;
- Temperatura de referência: ASHRAE 55 (2013);
- Simulações para verão (desconforto calor) e para inverno (desconforto frio);
- Considerar a parcela referente à ocupação no ambiente simulado (usuários, iluminação e equipamentos);
- É preciso propor uma forma de apresentar os critérios que seja baseada na radiação solar (e não com a transmitância térmica) e que os parâmetros para avaliação do desempenho térmico tenham como premissa o cenário real de uso.

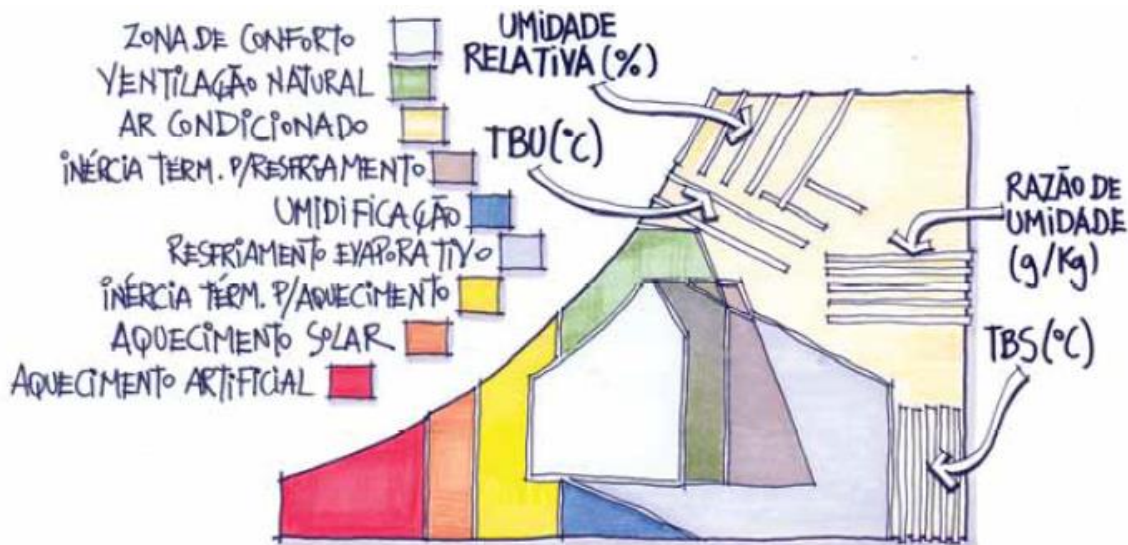
2.2.2 NBR 15.220: critérios adicionais, estratégias e cartas bioclimáticas

A NBR 15.220-3 (2005c) traz alguns outros parâmetros obrigatórios para que a edificação obtenha desempenho térmico satisfatório para ZB8, além da transmitância térmica e absorvância solar levantados na NBR 15.575-4 (ABNT, 2013d). Entre esses critérios adicionais, destaca-se o atraso térmico. Este representa o tempo que leva para a energia absorvida (calor) ser percebida na superfície oposta (ABNT, 2005a). Seu símbolo é ϕ e sua unidade é h.

O atraso térmico possui relação direta com a capacidade térmica do elemento construtivo (CT), que é a quantidade de calor necessária para variar em uma unidade a temperatura de um sistema pela sua área (ABNT, 2005a) e é expressa em $J/(m^2.K)$. Não faz parte do escopo desta pesquisa o cálculo dessas propriedades, porém é importante saber que a capacidade térmica de um elemento advém da multiplicação da espessura (e), calor específico (c) e densidade de massa aparente (p) das camadas de seus materiais constituintes pelas suas áreas respectivas e que o atraso térmico é obtido em função do tempo que leva para a temperatura de uma superfície se igualar a temperatura de sua superfície oposta – isto é, em função da diferença das capacidades térmicas superficiais (ABNT, 2005b).

Além disso, a NBR 15.220-3 (ABNT, 2005c) traz parâmetros de conforto térmico, baseados nas zonas bioclimáticas da Carta Bioclimática de Givoni (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014 com base em GIVONI, 1992). A FIG. 6 elucida essas zonas que são definidas de acordo com as condicionantes climáticas. Basicamente se tem uma zona relativamente central de conforto (zona branca da FIG. 6) e as demais são zonas não confortáveis, identificadas pela estratégia a ser adotada na edificação conforme as condicionantes climáticas para que se obtenha as condições de conforto térmico desejadas.

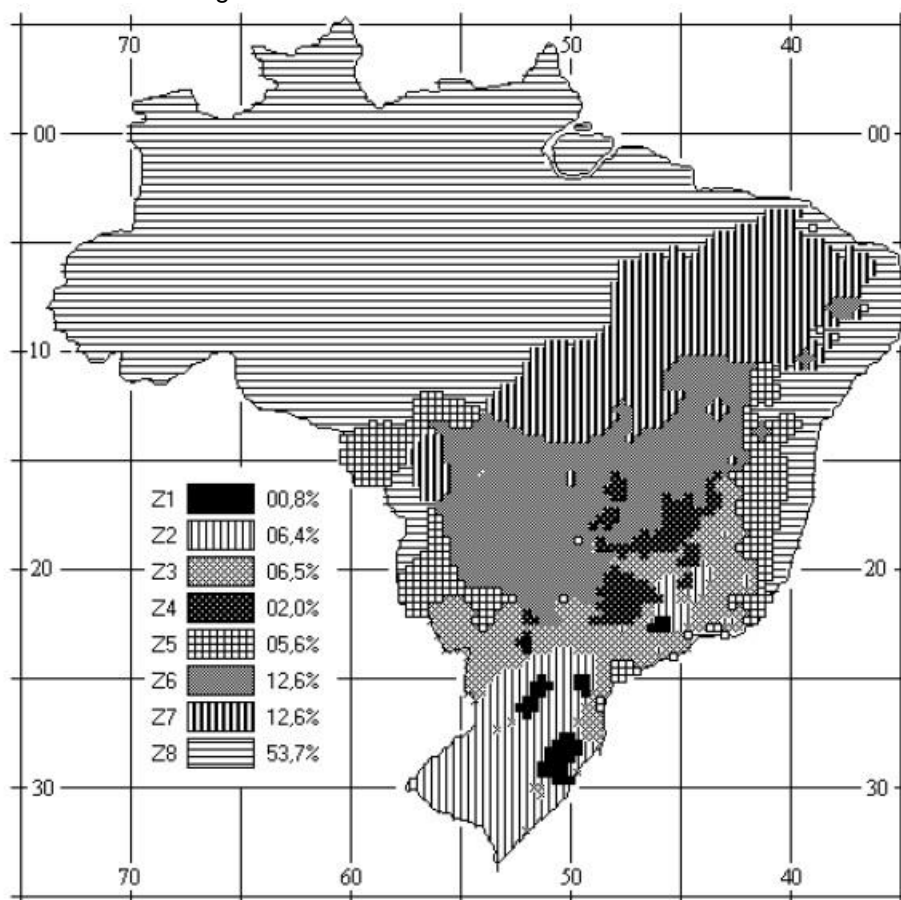
Figura 6 – Carta Bioclimática de Givoni



Fonte: LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014, p. 86 com base em GIVONI, 1992.




De acordo com as zonas da Carta de Givoni (FIG. 6), a NBR 15.220-3 dividiu o Brasil em oito zonas bioclimáticas (FIG. 7). Assim, a normativa lista 330 cidades, indicando a ZB em que está inserida. Para cada cidade, são identificadas as estratégias de condicionamento térmico passivo que se relacionam com as estratégias de sua ZB, porém normalmente com algumas particularidades. Para Vitória, por exemplo, as estratégias recomendadas são: F, I e J, sendo a sua ZB (ZB8) é exigida a estratégia J (QUAD. 2), em função de sua zona respectiva na Carta de Givoni (área verde FIG. 6).



Figura 7 – Zoneamento bioclimático brasileiro



Fonte: ABNT, 2005c, p.3

Quadro 2 – Estratégias de condicionamento térmico passivo (NBR 15.220-3)

Estratégia	Detalhamento
A	O uso de aquecimento artificial será necessário para amenizar a eventual sensação de desconforto térmico por frio.
B	A forma, a orientação e a implantação da edificação, além da correta orientação de superfícies envidraçadas, podem contribuir para otimizar o seu aquecimento no período frio através da incidência de radiação solar. A cor externa dos componentes também desempenha papel importante no aquecimento dos ambientes através do aproveitamento da radiação solar.
C	A adoção de paredes internas pesadas pode contribuir para manter o interior da edificação aquecido.
D	Caracteriza a zona de conforto térmico (a baixas umidades).
E	Caracteriza a zona de conforto térmico.
 F	As sensações térmicas são melhoradas através da desumidificação dos ambientes. Esta estratégia pode ser obtida através da renovação do ar interno por ar externo através da ventilação dos ambientes.
G e H	Em regiões quentes e secas, a sensação térmica no período de verão pode ser amenizada através da evaporação da água. O resfriamento evaporativo pode ser obtido através do uso de vegetação, fontes de água ou outros recursos que permitam a evaporação da água diretamente no ambiente que se deseja resfriar.
H e I	Temperaturas internas mais agradáveis também podem ser obtidas através do uso de paredes (externas e internas) e coberturas com maior massa térmica, de forma que o calor armazenado em seu interior durante o dia seja devolvido ao exterior durante a noite, quando as temperaturas externas diminuem.
 I e J 	A ventilação cruzada é obtida através da circulação de ar pelos ambientes da edificação. Isto significa que se o ambiente tem janelas em apenas uma fachada, a porta deveria ser mantida aberta para permitir a ventilação cruzada. Também deve-se atentar para os ventos predominantes da região e para o entorno, pois o entorno pode alterar significativamente a direção dos ventos.
K	O uso de resfriamento artificial será necessário para amenizar a eventual sensação de desconforto térmico por calor.
L	Nas situações em que a umidade relativa do ar for muito baixa e a temperatura do ar estiver entre 21°C e 30°C, a umidificação do ar proporcionará sensações térmicas mais agradáveis. Essa estratégia pode ser obtida através da utilização de recipientes com água e do controle da ventilação, pois esta é indesejável por eliminar o vapor proveniente de plantas e atividades domésticas.

Legenda:  Estratégia para Vitória  Estratégia para ZB8

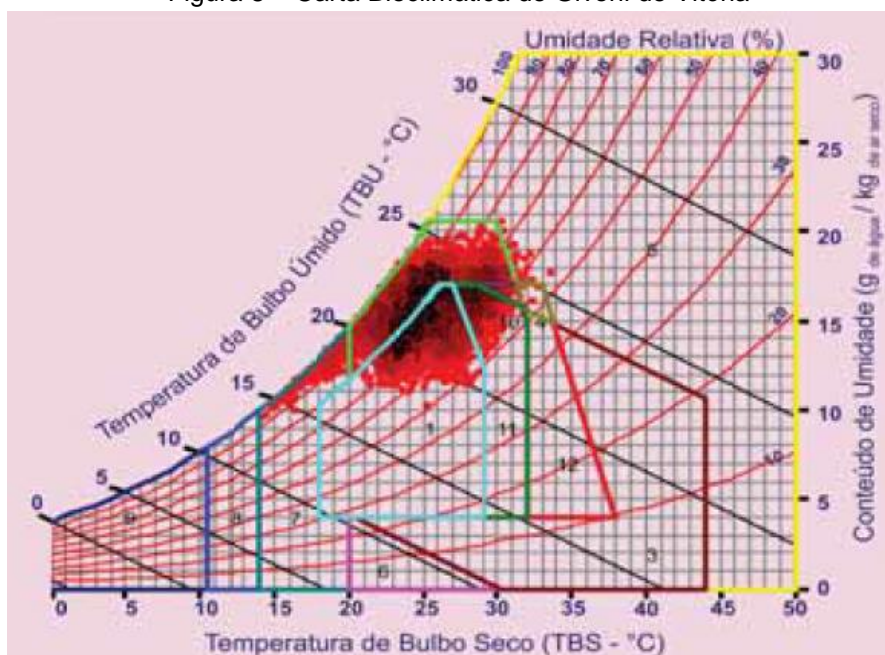
Fonte: ABNT, 2005c, p.9-10.

Conforme o exposto no QUAD. 2, a ZB8 possui como estratégia de condicionamento térmico passivo a ventilação cruzada, porém para Vitória é preciso atender, além dessa exigência em termos de condicionamento térmico dos ambientes, que estes também usufruam de estratégias construtivas de desumidifiquem os ambientes (QUAD. 2 e FIG. 8).

A Carta Bioclimática especificamente de Vitória (FIG. 8) é apresentada por Lamberts, Dutra e Pereira (2014) com base nas diretrizes de Givoni (1992). Nesse contexto, destaca-se que as cartas bioclimáticas surgiram na década de 60 com os irmãos Olgyay (FIG. 9), os quais criaram a expressão Projeto Bioclimático (1973) ao aplicarem a Bioclimatologia na arquitetura considerando o conforto térmico humano. Assim, as cartas bioclimáticas representam diretrizes compiladas da adaptação da arquitetura ao clima tendo em vista o bem-estar térmico de seus usuários (OLGYAY, 1968). Ao atendê-la, a edificação provém, “[...] por meio de seus próprios elementos, as condições favoráveis do clima com o objetivo de satisfazer as exigências de conforto térmico do homem” (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014, p. 84). As Cartas Bioclimáticas de Givoni surgiram em 1969 como forma de corrigir limitações da de Olgyay. No entanto, destaca-se que, como previamente discutido, elas não representam os parâmetros de conforto térmico mais condizentes com a realidade brasileira. Vale enfatizar

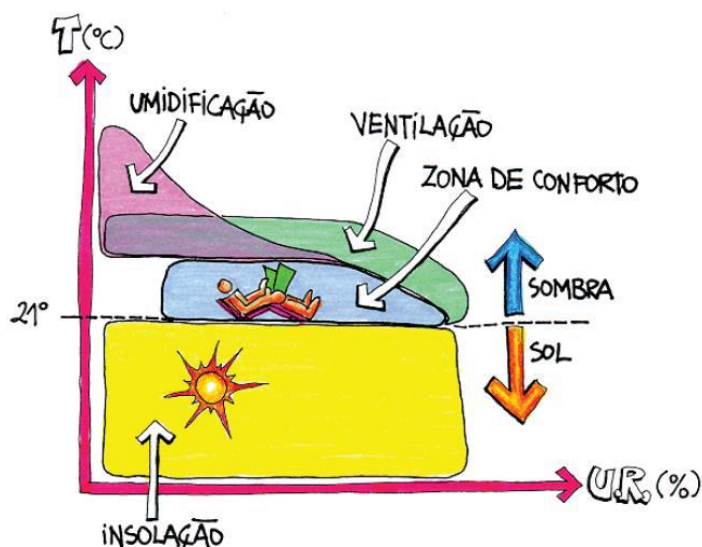
que esse zoneamento bioclimático de Givoni, no qual a NBR 15.220-3 se baseou para dividir o território brasileiro, é do final da década de 60. Além disso, os estudos feitos por Givoni se fundamentaram em locais com realidades climáticas totalmente adversas ao Brasil: EUA, Europa e Israel (GIVONI, 1992). Observa-se que para ZB8 essa não conformidade é ainda mais peculiar, pois, além de ser quente (diferentemente dos EUA e dos países da Europa), é úmido – distinguindo-se assim até mesmo de Israel, cujo clima é quente e seco.

Figura 8 – Carta Bioclimática de Givoni de Vitória



Fonte: LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014, p. 327 com base em GIVONI, 1992.

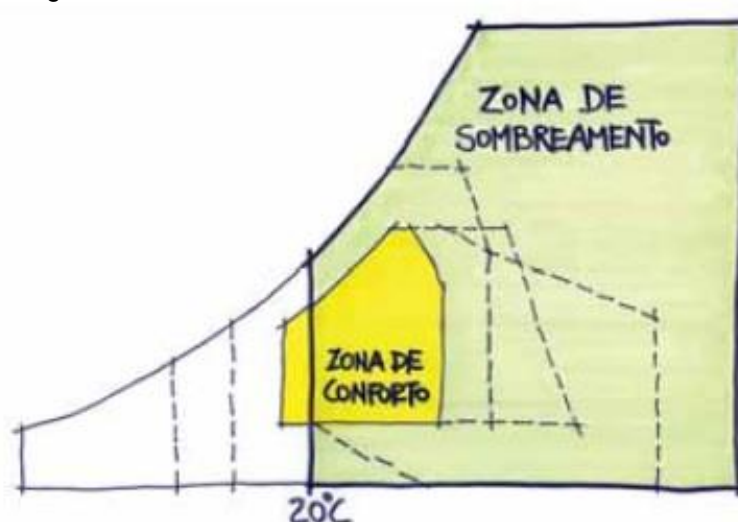
Figura 9 – Carta Bioclimática de Olygay



Fonte: LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014, p. 84 com base em OLYGAY, 1973.

Além de todas essas considerações adicionais sobre a NBR 15.220-3 em relação à NBR 15.575 (2013), a NBR 15.220-3 também provê algumas outras diretrizes construtivas para se obter conforto térmico ambiental, como às relacionadas ao sombreamento das aberturas. Para a ZB8, a norma recomenda que todas as aberturas sejam sombreadas, uma vez que as temperaturas externas médias de suas cidades são acima de 20°C (FIG. 10).

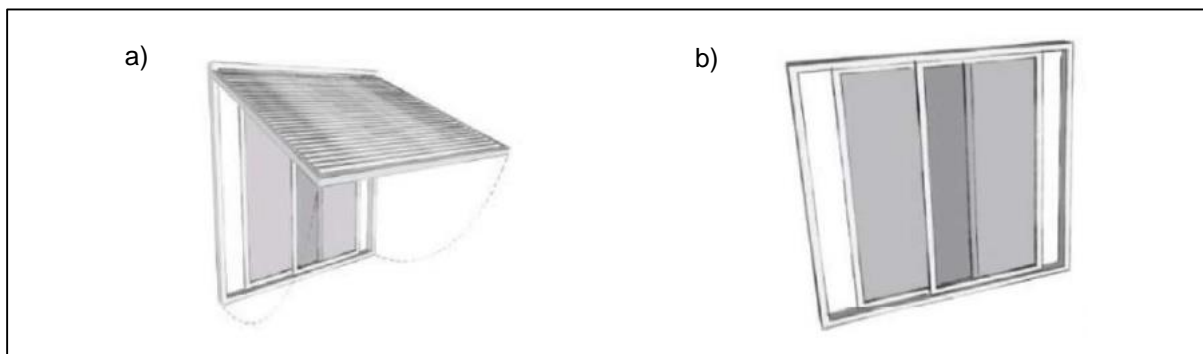
Figura 10 – Zona de sombreamento da Carta de Givoni



Fonte: LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014, p. 91 com base em GIVONI, 1992.

Costalonga et al (2016) ratificam essa melhoria de comportamento térmico ambiental em função de sombreamento das aberturas para Vitória, por meio de estudos que detectam uma melhoria de até 260 horas em um mês de verão (fevereiro) entre o uso de um tipo de janela vinculada com dispositivo móvel de sombreamento (FIG. 9a) e uma janela tradicional da região (FIG. 9b), proposta e levantada respectivamente por pesquisas anteriores de Nico-Rodrigues (2015).

Figura 11 – Janelas de Vitória: a) proposta com dispositivo móvel de sombreamento; b) padrão de Vitória



Fonte: Nico-Rodrigues, 2015, pág. 120.

2.3 Conforto Térmico: conceito, modelos e índices

Como apresentado inicialmente, o desempenho tem o foco na edificação e tem como um dos seus objetivos principais prover condições de conforto aos seus usuários. Portanto, para uma edificação possuir desempenho satisfatório, é preciso que ela seja capaz de prover condições adequadas de conforto.

O conforto térmico, de acordo com a ASHRAE (2013, p.3, tradução da autora), é “a condição da mente que expressa satisfação com o ambiente térmico e é estimada por avaliação subjetiva”. Afinal, como apontam Sorgato, Melo e Lamberts (2014), o conforto possui um conceito subjetivo, já que muitas variáveis interferem na sensação de bem-estar do usuário em um determinado ambiente.

O conforto térmico humano tem relação com o homem ser um animal homeotérmico e os esforços que precisa fazer para manter sua temperatura interna constante – na ordem de 37°C. Logo, o conforto térmico está diretamente relacionado com o metabolismo humano, pelo qual o homem produz energia, sendo estimado 20% como energia potencial para trabalho e 80% transformada em calor – que deve ser dissipada para que o organismo seja mantido em equilíbrio. A produção de calor depende da atividade que o indivíduo desenvolve e a vestimenta que é utilizada também impacta em sua sensação de conforto, uma vez que o vestuário serve como resistência à passagem de calor (FROTA; SCHIFFER, 2003).

No que tange ao condicionamento térmico de um ambiente para que existam condições de o mesmo prover conforto térmico aos seus usuários, têm-se três modelos:

- a) os que consideram os ambientes com condicionamento artificial do ar;
- b) os que consideram os ambientes naturalmente ventilados;
- c) os híbridos (DEAR; BRAGER; COOPER, 1997; HALAWAA; HOOF, 2012).

O primeiro modelo se baseia principalmente nas pesquisas de Fanger (1972) e é adotado pela Norma ISO 7730 (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 2005), porém ele é válido para situações em que as variáveis ambientais (como temperatura radiante média e velocidade do ar) podem ser controladas (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014), o que não se compatibiliza com o objetivo desta pesquisa. É muito utilizado para lugares com temperaturas extremas e com condicionantes climáticas difíceis de serem controlados de forma natural.

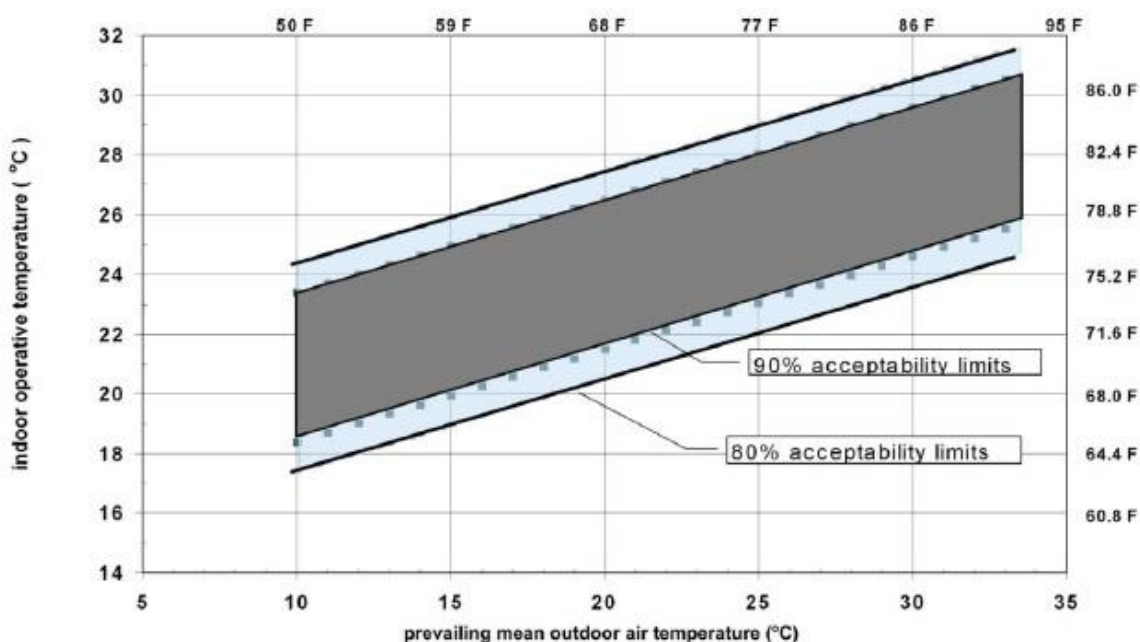
Já o segundo modelo, conhecido como modelo adaptativo, fundamenta-se nos estudos de Humphreys (1975), que considera o fator de aclimatização das pessoas ao serem submetidas às variáveis climáticas de um lugar. No proposto por Fanger, as variáveis ambientais se adaptam às pessoas e às suas vestimentas (havendo limites de conforto operativo); no de Humphreys, a adaptação é das pessoas através de equilíbrio dinâmico com o ambiente

(havendo limites de temperatura operativa que possibilitem o conforto térmico). Assim, o modelo adaptativo considera ajustes comportamentais, que ocorrem nos próprios usuários (como mudanças nas vestimentas, posturas ou atividades) ou no ambiente (como aberturas de janelas) (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014; YUN, 2018).

O modelo adaptativo é adotado pela ASHRAE 55 (2013, p.2, tradução da autora), que o define como “um modelo que relaciona temperaturas de projeto interno ou faixas de temperatura aceitáveis para dados meteorológicos ao ar livre ou parâmetros climatológicos”. Essa norma determina o método para se calcular as temperaturas operativas mínima e máxima de cada mês para cada cidade trabalhada. Para isso, a norma apresenta percentuais de aceitabilidade de conforto térmico por parte dos usuários passíveis de serem utilizados de 80 e 90% para as temperaturas externas (GRÁF. 1). Através da temperatura externa do mês e do local, calcula-se a temperatura neutra (entendida como a de conforto térmico). Com a temperatura neutra e de acordo com o percentual escolhido, encontram-se as temperaturas operativas mínimas e máximas de conforto desejadas.

Temperatura operativa é conceituada como a “temperatura uniforme de um invólucro preto imaginário e o ar dentro dele em que um ocupante trocaria a mesma quantidade de calor por radiação mais convecção como no ambiente não uniforme real” (ASHRAE, 2013, p. 4, tradução da autora) – o que é entendido por Pereira e Assis (2010) como a média entre a temperatura do ar e a temperatura radiante.

Gráfico 1 – Referências para obtenção dos limites de temperaturas operativas conforme percentual de conforto térmico considerado e temperatura externas médias locais.



Fonte: ASHRAE, 2013, p.12.

Apesar da exposição de dois percentuais dos limites de aceitabilidade (GRÁF. 1), a ASHRAE 55 recomenda a utilização da referência de 80%, observando que o de 90% é incluso apenas para informação. Além disso, atenta-se que, como o modelo adaptativo considera a adaptação da arquitetura ao clima (temperaturas externas não-extremas com aproveitamento da ventilação natural), a temperatura externa predominante do local trabalhado tem que ser entre 10 e 33,5°C – como exposto no GRÁF. 1.

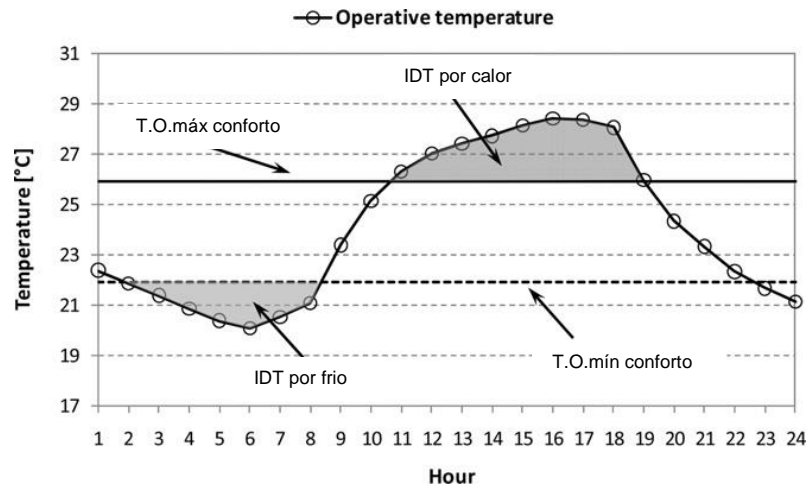
Dessa maneira, para que a edificação tenha condições de prover o conforto térmico adaptativo ambiental, as edificações precisam ser construídas de modo que suas temperaturas operativas estejam 100% entre a mínima e máxima para se prover os 80% de aceitabilidade de conforto recomendada. Para isso é preciso que os parâmetros térmicos que constituem os elementos construtivos atendam a essa referência de conforto adaptativo. Para verificação dessa conformidade, existem os índices de conforto térmico, que surgem como forma de determinar as condições ambientais para que os usuários alcancem a sensação de bem-estar trazidas pelo conforto (BOGO et al., 1994).

Existe uma grande variedade de índices de conforto térmico. Nico-Rodrigues (2015) apresenta uma compilação com mais de cinquenta índices criados pelos mais diversos autores desde 1905. Previamente foram selecionados alguns índices considerando: a teoria do conforto adaptativo; a adequabilidade do índice ao local; o uso e reconhecimento do índice em pesquisas científicas; e a compatibilização com o tipo e quantidade de dados a serem trabalhados nesta pesquisa. Assim, têm-se os seguintes índices norteadores: Frequência de Desconforto Térmico (FDT) e Intensidade de Desconforto Térmico (IDT), ambos aplicáveis para verificação de condições de calor e de frio e propostos por Sicurella, Evola e Wurtz (2012). O FDT representa a porcentagem de tempo dentro de um determinado período em que as condições de conforto térmico do ambiente não são atingidas – isto é, quando as temperaturas operativas do ambiente são menores que a mínima e maiores que a máxima temperatura operativa de conforto de referência. Já o IDT representa a contabilização de todos os graus-hora acima da linha de desconforto térmico máxima e abaixo da mínima utilizada como referência (FIG. 12).

Além desses, têm-se algumas derivações desses índices supracitados: Quantidade de Horas de Desconforto Térmico (QHDT) e Graus-horas de Desconforto Térmico (GhDT). QHDT se refere aos mesmos dados de FDT, porém expressos em quantidade de dias; e GhDT, utilizado por diversos autores - como por Silveira e Labaki (2012) e Brasil (2012a), também representa os graus-horas em desconforto térmico, porém específicos de uma diferença entre temperatura operativa mínima ou máxima de conforto térmico (T.O. mín e T.O. máx) e temperatura operativa do ambiente – isto é, a diferença horária entre ambas. De modo geral, ressalta-se que em todos os índices as temperaturas operativas horárias (T.O.h) do ambiente

acima de T.O. máx caracterizam situações de desconforto térmico por calor (DTc); e as que ficam abaixo da T.O. mín, desconforto térmico por frio (DTf).

Figura 12 – Intensidade de Desconforto Térmico (IDT)



Fonte: Sicurella, Evola e Wurtz (2012), p. 404, adaptações da autora.

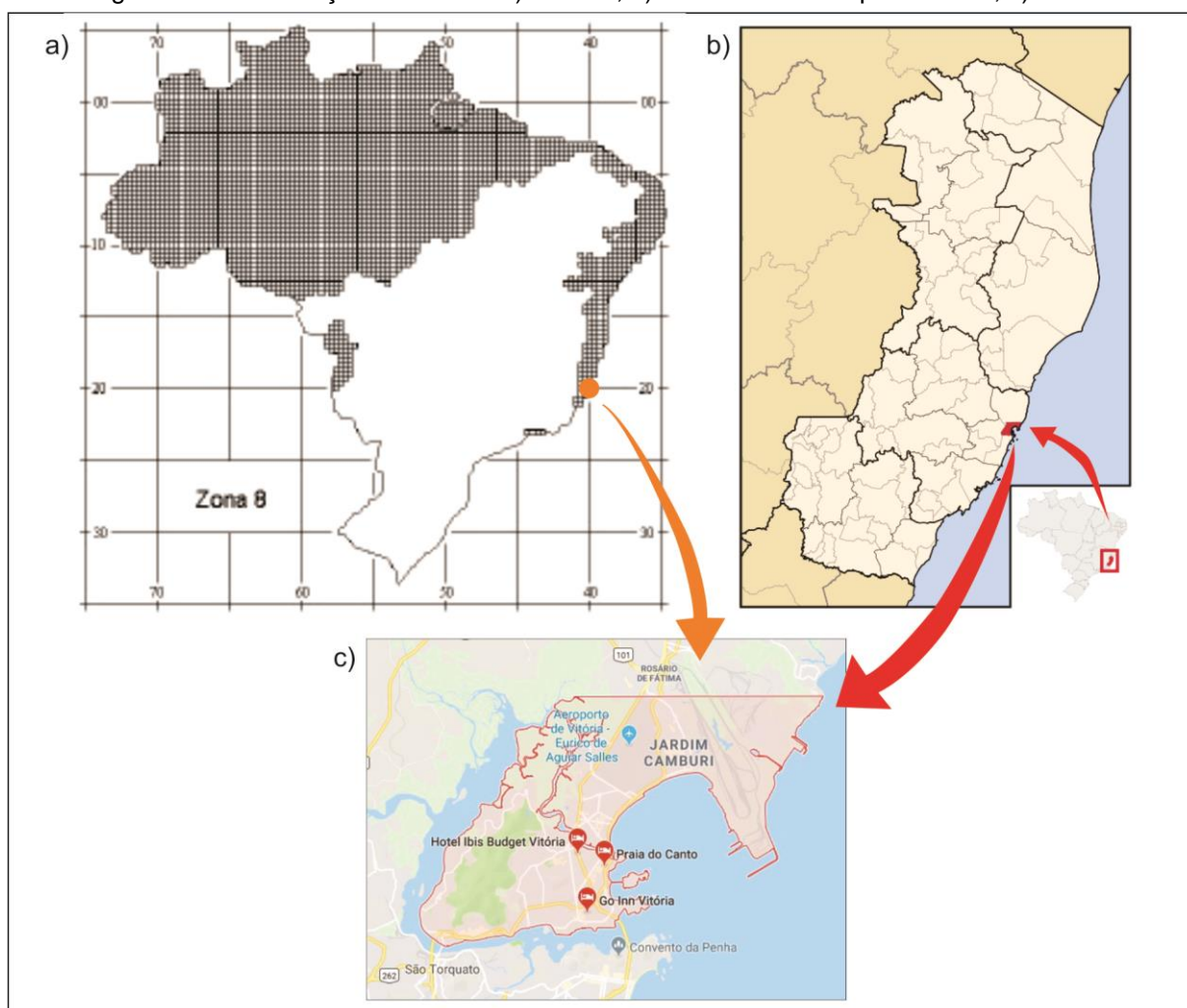
Além da boa adequação de índice adaptativo ao contexto considerado, pontua-se que, como argumentam Silveira e Labaki (2012), o uso de índices de conforto com temperaturas variáveis, além de reduzirem naturalmente a sensação de desconforto sob condições normais climatológicas (não-extremas), serve como forma de redução do consumo energético.

Desse item de referencial teórico foi extraído para o desenvolvimento da pesquisa o conceito de conforto térmico, os seus modelos e índices utilizados na pesquisa: o modelo adaptativo com base nos 80% de aceitabilidade de conforto térmico por parte dos usuários e FDT, QHDT, GhDT e IDT como índice de conforto térmico.

3 METODOLOGIA DA PESQUISA

Esta pesquisa de cunho exploratório (GIL, 2017) tem seu campo de abrangência delimitado aos edifícios residenciais verticais multifamiliares na Zona Bioclimática 8, exemplificados pelos construídos mais recentemente pelas principais incorporadoras na cidade de Vitória (ES) (FIG. 13) conforme o 31º Censo Imobiliário da Grande Vitória do Sindicato da Indústria da Construção Civil no Estado do Espírito Santo (SINDUSCON-ES, 2017). Mais especificamente, o recorte desta pesquisa se delimita aos fechamentos opacos (análise das suas propriedades térmicas: transmitância térmica (U) e absorptância solar (α) da ZB8) e às paredes externas (subsídio para simulações das propriedades térmicas e análise desses elementos especificamente na construção civil de Vitória). A pesquisa foi dividida em sete etapas com seus respectivos procedimentos e resultados (QUAD. 3). Cada etapa corresponde a um objetivo específico e os seus procedimentos são explicados no texto em sequência à FIG. 14. Nesta é apresentado o fluxograma síntese da metodologia, sendo recortada e elucidada antes das descrições de cada etapa, antecipados pelas FIG. 15 a 21.

Figura 13 – Localização de Vitória: a) na ZB8; b) no Brasil e no Espírito Santo; c) Vitória.



Fonte: a) ABNT, 2013c, p. 44, adaptações da autora; b) ESPÍRITO SANTO, 2018; c) GOOGLE MAPS, 2018.

Quadro 3 – Mapa da pesquisa: etapas metodológicas, procedimentos e resultados (continua)

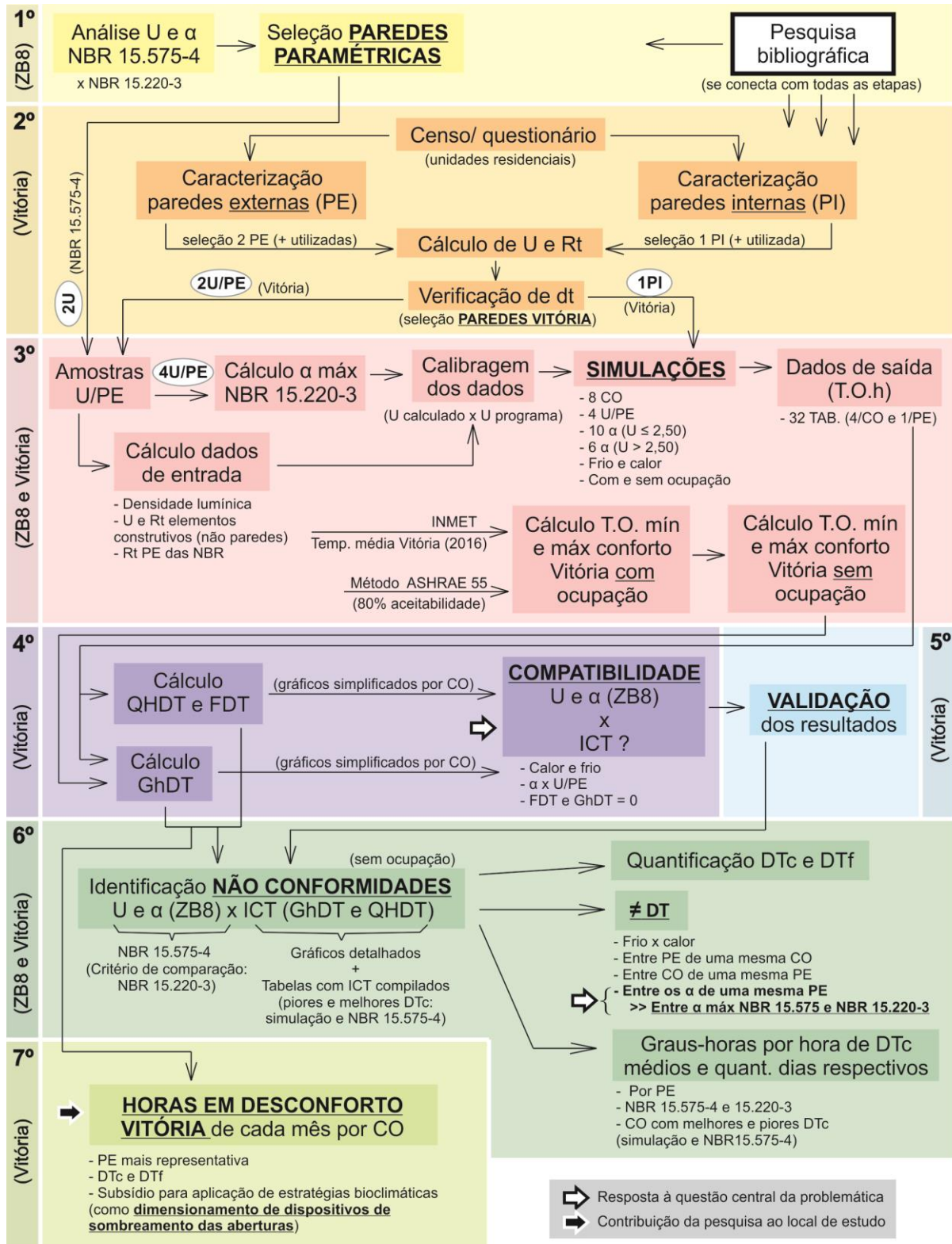
ETAPA	PROCEDIMENTO	RESULTADO
1. Selecionar parâmetros de U e α ZB8 (NBR 15.575-4) como amostras paramétricas da pesquisa	<ul style="list-style-type: none"> - Identificação dos critérios - Comparação parâmetros NBR 15.575-4 com os da 15.220-3 	<p>Classificação critérios NBR 15.575-4 (ZB8)</p> <p>Relação de U e α NBR 15.575-4 em relação à NBR 15.220-3 (ZB8)</p> <p>Paredes paramétricas (amostra simulações)</p>
2. Selecionar as paredes mais utilizadas recentemente na construção civil residencial de Vitória com desempenho térmico satisfatório	<ul style="list-style-type: none"> - Levantamento e compilação das unidades residenciais mais recentes de Vitória (censo SINDUSCON) com suas respectivas obras e incorporadoras - Elaboração, teste e aplicação entrevista/ questionário sobre as paredes utilizadas nessas obras - Compilação dos resultados (caracterização das paredes) - Seleção PE e PI mais utilizadas - Definição de U e verificação de desempenho térmico (PE e PI) 	<p>Paredes externas e interna de Vitória (amostra simulações)</p>
3. Obter temperaturas operativas horárias (T.O.h) com e sem ocupação dos cenários selecionados e definir as T.O.h mín e máx de referência	<ul style="list-style-type: none"> - Seleção da amostra (PE) - Cálculo α máx NBR 15.220-3 - Cálculo densidade lumínica; U e Rt elementos construtivos (não paredes); Rt PE das paredes paramétricas - Calibragem de U - Simulações - Cálculo de T.O. mín e máx mensais 80% conforto para Vitória (ASHRAE 55 - <u>com</u> ocupação) - Cálculo de T.O.h mín e máx de conforto <u>sem</u> ocupação de cada PE de cada CO 	<p>T.O.h com e sem ocupação de todos os cenários ((PE/U x α) por CO) e T.O.h mín e máx de conforto dos cenários sem ocupação</p>
4. Identificar intervalos de U e α (ZB8) das NBR 15.575-4 e 15.220-3 por orientação solar compatíveis com índices de conforto térmico ambiental	<p>Seleção dos índices de conforto</p> <p>Cálculo QHDT e FDT por calor e por frio dos cenários sem ocupação simulados</p> <p>Cálculo GhDT por calor e por frio dos cenários sem ocupação simulados</p> <p>Análise simplificada dos gráficos de FDT e GhDT por calor e por frio de cada α de cada PE/U entre as CO (cenários sem ocupação)</p>	<p>Identificação dos cenários ((PE/U x α) por CO) sem ocupação com FDT = 0% e GhDT = 0</p>
5. Validar os resultados	<p>Procedimentos selecionados em função dos resultados parciais obtidos</p>	<p>Validação dos resultados</p>

Quadro 3 – Mapa da pesquisa: etapas metodológicas, procedimentos e resultados

6. Identificar as não conformidades de U e α (ZB8) da NBR 15.575-4 por combinação de orientações em relação a índices de conforto térmico ambiental	- Análise detalhada de GhDT e QHDT por calor e por frio de cada α x PE/U de cada CO (cenários sem ocupação), com α máx NBR 15.575-4 x α máx NBR 15.220-3	Quantificação DTc (todos os cenários sem ocupação) Graus-horas, quant. de dias e diferenças em DTc e DTf entre não conformidades dos cenários com α máx NBR 15.575-4 e α máx NBR 15.220-3 Graus-horas, quant. de dias, graus-horas/ hora de desconforto médios e diferenças em DTc por calor entre não conformidades dos cenários da pior e melhor CO com α máx NBR 15.575-4 e α máx NBR 15.220-3
7. Identificar as horas de desconforto térmico (DT) de cada mês da parede mais representativa de Vitória	- Compilação dos valores totais de GhDT e QHDT por horas de cada mês em DTc e DTf da PE mais representativa de Vitória para cada CO	Total de graus-horas e de dias por horas de cada mês em DTc e em DTf da parede mais representativa de Vitória por CO
Legenda: CO - combinação de orientações (solares) DTf - desconforto térmico por frio GhDT - graus-horas desconforto térmico PI - parede interna T.O. - temperatura operativa U - transmitância térmica α - absorvância térmica		DTc - desconforto térmico por calor FDT - frequência de desconforto térmico PE - parede externa QHDT - quantidade de horas desconforto térmico T.O.h - temperatura operativa horária ZB8 - Zona Bioclimática 8

Fonte: A autora, 2019.

Figura 14 – Fluxograma de síntese da metodologia da pesquisa



ETAPA 1: Paredes paramétricas

Figura 15 – Etapa 1 do fluxograma da pesquisa



Fonte: A autora, 2019.

Os dois conjuntos de critérios de U e α da NBR 15.575-4 foram diferenciados em termos de identificação de modo que essa identificação fosse utilizada na exposição e análise dos resultados. Além disso, utilizou-se o conjunto de critérios da NBR 15.220-3 como critério de comparação por representar a referência pré-existente das propriedades térmicas relacionadas.

Os critérios das NBR 15.575-4 e 15.220-3 foram analisados comparativamente por meio da compilação desses dados em uma mesma tabela. Para isso, o α máx do Umáx da NBR 15.220-3 foi calculado conforme a FÓRM. 2. Além disso, os U de cada uma dessas normas foram comparados em função de seu α máx respectivo. Os α foram selecionados em função dos Umáx dos critérios da NBR 15.575-4 e dos limites dos intervalos de α da NBR 15.575-4. Por meio dessa identificação dos parâmetros térmicos da NBR 15.575-4 para a ZB8 foi possível se estabelecer as referências das paredes paramétricas que foram utilizadas nas simulações.

$$\alpha \text{ máx} = \frac{FSO \text{ máx}}{4.U} \quad (2)$$

Onde:

α máx: absortância solar máxima da superfície externa da parede da fachada;

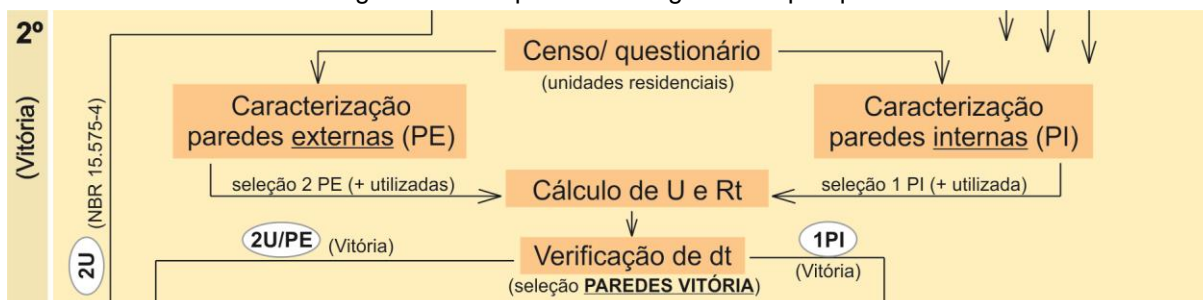
FSO máx: fator solar de elementos opacos máximo (%);

U: transmitância térmica (W/m².K).

Ademais, de forma geral, a dissertação foi pautada por uma pesquisa bibliográfica exploratória que aconteceu durante todo o processo de elaboração da dissertação, provendo embasamento teórico acerca das temáticas trabalhadas no estudo (propriedades térmicas das edificações; normas de desempenho térmico; e conforto térmico ambiental adaptativo) por meio de normas técnicas nacionais e internacionais; artigos indexados internacionais, nacionais e de eventos, bem como por meio de dissertações de mestrado, teses de doutorado e livros referenciados por pesquisas científicas de autores reconhecidas na área.

ETAPA 2: paredes Vitória

Figura 16 – Etapa 2 do fluxograma da pesquisa



Fonte: A autora, 2019.

O levantamento de dados inicial foi feito para selecionar os edifícios residenciais mais recentes na construção civil de Vitória como uma etapa preliminar à obtenção das paredes externas (PE) e internas (PI) mais utilizadas na cidade. Externas por ser alvo da pesquisa e interna por questões metodológicas de se simular a caracterização interna mais típica da região. Para isso, optou-se metodologicamente por fazer a seleção de todas as obras com unidades residenciais de Vitória do 31º Censo Imobiliário da Grande Vitória (SINDUSCON-ES, 2017) com as respectivas incorporadoras e unidades autônomas residenciais nas cinco fases de obra listadas no censo (planta, fundação, estrutura, acabamento e concluídas) para em etapa seguinte entrevistar representantes dessas obras sobre as paredes utilizadas nas mesmas.

Observa-se que mesmo as obras com prevalência de unidades comerciais foram selecionadas desde que possuíssem unidades residenciais e que por “unidade autônoma” se designa cada moradia independente, seja ela como apartamento ou como casa de edificações multifamiliares. Além disso, calculou-se nessa etapa o percentual ponderado de representatividade de cada obra e incorporadora por regra de três simples, considerando o total de unidades residenciais do censo como 100%. A TAB. 4 exemplifica a compilação das obras por incorporadora na ordem decrescente de representatividade da incorporadora, considerando os quantitativos de unidades residenciais de cada uma. A representatividade das obras serviu como parâmetro de eficácia mínima na obtenção dos resultados do procedimento de compilação dos resultados das entrevistas/ questionários.

Tabela 4 - Exemplo da apresentação da compilação do levantamento de obras do censo

Incorporadora	Obra	Unidades residenciais		Representatividade	
A	A1		120		40%
	A2	180	45	60%	15%
	A3		15		5%
B	B1		45		15%
	B2	75	30	25%	10%
C	C1	45	45	15%	15%
		300		100%	

Fonte: A autora, 2019.

Em seguida, elaborou-se um questionário com perguntas objetivas que permitiram a caracterização das paredes utilizadas nas obras levantadas para se obter, com a compilação desses resultados, as informações das paredes mais utilizadas recentemente na construção civil de Vitória. As questões foram elaboradas conforme os dados de entrada de paredes necessários no *software DesignBuilder* e foram estruturadas de acordo com as posições das paredes existentes em obras: (1) periferia (externa); (2) entre unidades autônomas (entre U.A.) – interna separando unidades residenciais diferentes; e (3) interna (dentro da mesma unidade). Observa-se que, por questões executivas das obras, as paredes internas foram divididas em “paredes entre unidades autônomas” e singularmente “paredes internas”. No total, foram treze perguntas: dez sobre as três posições de parede trabalhadas e três específicas das paredes de periferia.

Além disso, o questionário foi elaborado para ser aplicado tanto por telefone (como entrevista semi-estruturada – GIL, 2017) quanto por e-mail. Porém, priorizou-se a entrevista por contato telefônico para se obter um percentual mais expressivo em menor tempo de respostas, tendo como meta um mínimo de 50% em relação à representatividade das unidades residenciais. Os telefones almejados eram os das obras, podendo ser do escritório da incorporadora no caso de centralização das informações, tendo como prioridade de contato o engenheiro ou técnico em edificações da obra, aceitando funcionários diferentes indicados pela construtora.

Para obter os telefones, foi feita uma busca inicial pelos sites das empresas ou sites de busca, quando a construtora não possuía site. Para os casos de não-sucesso nos telefonemas, o questionário foi enviado por e-mail, juntamente com um modelo de exemplo de preenchimento do mesmo. Foi feito um cabeçalho explicativo sobre a pesquisa e sobre seu preenchimento, esclarecendo que, em caso de mais de uma resposta para a mesma questão, deveria ser marcada a opção predominante e aplicável às áreas secas (principalmente sala).

Ao final desse procedimento, acrescentou-se uma coluna na TAB. 4 mostrando a situação de obtenção dos resultados das entrevistas/ questionários. Ressalta-se que antes da aplicação dos questionários, foram feitos testes no Laboratório de Planejamento e Projetos (LPP) para as duas situações previstas: como entrevista semi-estruturada por telefone na qual a autora leu e guiou as perguntas, anotando as respostas; e como questionário simples por e-mail, na qual a autora se omitiu e apenas enviou o questionário para ser respondido pelos questionados.

Os resultados dos questionários foram compilados inicialmente em uma tabela organizada horizontalmente pela ordem das perguntas do questionário e verticalmente por posição de parede (periferia, entre U.A. e interna), sendo que cada posição de parede possuía uma coluna para cada obra entrevistada/ questionada – como exemplifica a TAB. 5 de forma simplificada para as posições de parede de periferia e interna.

Cada obra foi identificada por seu percentual ponderado (30%, 20% e 11% TAB. 5). Ao final dessa linha, tem-se o total dessas porcentagens (61% TAB. 5), que é um total relativo (obras que respondera às entrevistas/ questionários), tendo o total absoluto todas as obras levantadas. Observa-se que foi adotado o percentual relativo para ser mantida a porcentagem real de representatividade da obra no cenário do mercado imobiliário capixaba, sendo que este percentual deveria ser maior que 50%. As obras também foram identificadas por um número conforme ordem decrescente de representatividade da incorporadora (supraexplicado e visualizado na TAB. 4 e exemplificado na TAB. 5 pelos números 1, 4 e 6). Ao final dessa linha, tem-se o total de obras que responderam às entrevistas/ questionários (exemplificado pelo número 3 na TAB. 5).

Tabela 5 - Exemplo da compilação dos resultados das entrevistas/ questionários

PERGUNTA		OPÇÃO	PERIFERIA				INTERNA			
			OBRA			TOTAL	OBRA			TOTAL
			1	4	6		3	1	4	
			30%	20%	11%	61%	30%	20%	11%	61%
1	Tipo de parede	a) Bloco cerâmico 9x19x19 cm, 8 furos			x	11%	x			30%
		b) Bloco concreto 19x19x39 cm, 2 furos	x			30%				0%
		c) Placa cimentícia e drywall (ep: 1 cm; et: 9,5 cm)			x	20%		x	x	31%
2	Parede dupla	a) Sim				0%				0%
		b) Não	x	x	x	61%	x	x	x	61%
3	Camada extra	a) Sim			x	11%				0%
		b) Não	x	x		50%	x	x	x	61%

Fonte: A autora, 2019.

Nota: *Números e porcentagens de identificação das obras se referem apenas aos questionários respondidos.

Para exposição dos resultados, foi feita uma segunda tabela com a compilação dos resultados da TAB. 5, porém sem as colunas das obras, ficando apenas o total por posição de parede para as opções das características das paredes contempladas (TAB. 6). Foram destacadas nessa tabela as porcentagens mais utilizadas por característica da parede para cada posição de parede (em vermelho TAB. 6), sendo que na característica do “tipo de parede” foram destacados os dois maiores percentuais (em vermelho e em laranja TAB. 6) de parede de periferia para, juntamente com os percentuais predominantes dos demais itens, selecionar-se as duas paredes externas mais utilizadas, assim como a parede mais utilizada para as posições entre U.A. e interna.

Tabela 6 - Exemplo de apresentação da representatividade das características das paredes utilizadas em obras residenciais de Vitória – resultado das entrevistas/ questionários, com destaque para as mais utilizadas

Característica		Opção	Periferia	Entre U.A.	Interna
1	Tipo de parede	a) Bloco cerâmico 9 x 19 x 19 cm, 8 furos	30%	0%	30%
		b) Bloco de concreto 19 x 19 x 39 cm, 2 furos	11%	50%	0%
		c) Placa cimentícia e <i>drywall</i> (ep: 1 cm; et: 9,5 cm)	20%	11%	31%
2	Parede dupla	a) Sim	0%	20%	0%
		b) Não	61%	41%	61%
3	Camada extra	a) Sim	11%	31%	0%
		b) Não	50%	30%	61%

Legenda:

- 1ª opção de maior representatividade por posição de parede - utilizada;
- 1ª opção de maior representatividade por posição de parede – desconsiderada;
- Opção de maior representatividade por posição de parede considerando a soma das porcentagens de “entre U.A.” e “interna”;
- 2ª opção de maior representatividade da periferia do item “tipo de parede”.

Fonte: A autora, 2019.

Para seleção das paredes externas e interna mais utilizadas, as opções com o maior percentual de representatividade de cada posição de parede de cada característica foram compiladas em uma outra tabela, obtendo-se assim as paredes da periferia, entre U.A. e interna mais utilizadas nas obras residenciais de Vitória.

Observa-se que o *DesignBuilder*, software de simulação de desempenho térmico utilizado, não distingue paredes entre unidades autônomas e internas. Logo, as PI (paredes internas de forma geral – posição de parede “entre U.A.” mais “interna”) foram selecionadas pela soma mais alta dos percentuais dessas duas posições de parede para uma mesma característica. Assim, nem sempre o percentual mais alto dessas duas posições era o considerado, senão os que juntos resultavam na maior soma – como acontece nas características 1 e 3 da TAB. 6. Exemplificando: na característica 1, mesmo a “placa cimentícia e *drywall* (ep: 1 cm; et: 9,5 cm)” possuindo uma porcentagem maior (em cinza) que as demais opções, considerou-se o “bloco de concreto 19 x 19 x 39 cm, 2 furos” (em rosa) como a opção de maior utilização por o somatório dos percentuais das posições “entre U.A.” e “interna” dessa opção “b” totalizar 50%, contra 42% e 30% das opções “c” e “a” dessa mesma característica de parede.

Dessa forma, as opções da TAB. 6 selecionadas para a compilação das paredes mais utilizadas (TAB. 7) ou eram vermelhas (opção mais utilizada sem ressalva) ou eram rosas (opção considerada em função do somatório) nas características de modo geral e na característica “tipo de parede” as consideradas eram a vermelha (opção mais utilizada) e a laranja (segunda opção mais utilizada). Foram selecionadas assim: duas PE de maior percentual representativo para os dois tipos de materiais de vedação de maior utilização

(exemplificados na TAB. 7 por bloco cerâmico e placa cimentícia) e uma PI entre as opções de paredes de obras residenciais recentes de Vitória.

Tabela 7 – exemplo a compilação das paredes mais utilizadas.

Característica	PE	PI
Tipo de parede	1) Bloco cerâmico 9 x 19 x 19 cm, 8 furos 2) Placa cimentícia/ <i>drywall</i> (ep: 1 cm; et: 9,5 cm)	Bloco de concreto 19 x 19 x 39 cm, 2 furos
Parede dupla	Não	Não
Camada extra	Não	Não

Fonte: A autora, 2019.

Para se encontrar os valores de U das paredes levantadas como as mais utilizadas recentemente em obras residenciais em Vitória, teve-se como primeira opção as referências do Catálogo de Propriedades Térmicas do INMETRO (BRASIL, 2013), que traz algumas opções de paredes com seus respectivos valores de U e que segue as diretrizes da NBR 15.575-4 (ABNT, 2013d). Para as paredes não listadas no catálogo, a alternativa foi calcular o U e Rt de cada uma dessas paredes por meio das fórmulas da NBR 15.220-2 (ABNT, 2005b) expressas no Anexo II.

A verificação de desempenho térmico das paredes levantadas foi realizada comparando os seus U encontrados com os parâmetros de adequabilidade de desempenho térmico estipulados na NBR 15.575-4 para ZB8 (TAB. 8). Com isso, foram obtidas as PE e PI de Vitória para como amostra para as simulações.

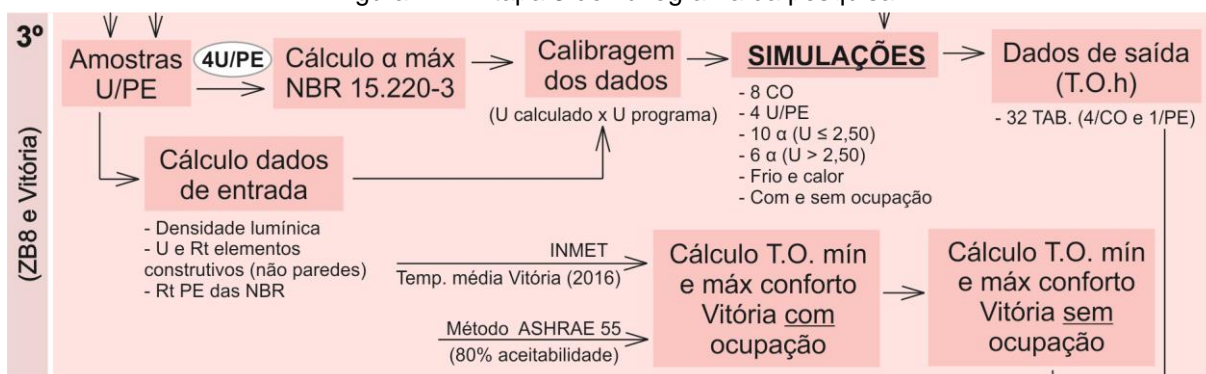
Tabela 8 – Parâmetros de verificação de desempenho térmico da NBR 15.575-4 (ZB8)

NBR 15.575-4 ²	
$U \leq 3,70$	$U \leq 2,50$
$\alpha \leq 0,60$	$\alpha > 0,60$

Fonte: ¹ ABNT, 2013d, p. 27, adaptações da autora.

ETAPA 3: simulações

Figura 17 – Etapa 3 do fluxograma da pesquisa



Fonte: A autora, 2019.

A amostra de paredes externas (PE) para as simulações foi definida por duas paredes de Vitória (reais) e duas paramétricas (fictícias), representando os $U_{máx}$ dos critérios da NBR 15.575-4. Com essa mescla de referências dos requisitos normativos com exemplares de paredes existentes na definição da amostra, a pesquisa de cunho paramétrica também pode ser aplicável à realidade local. Cada U (parâmetro analisado) é representada por uma PE (elemento construtivo).

Como a NBR 15.220-3 (ABNT, 2005c) só apresenta fator solar de elementos opacos (FS_o) e U entre os requisitos abordados nesta pesquisa, o α máx de cada uma das PE selecionadas como amostra desta pesquisa foi encontrado por meio da FÓRM. 3. Foi elaborada uma tabela com os α máx calculados e com os α máx adotados – os quais foram arredondados para a casa centesimal mais próxima terminada com zero. Esses α máx calculados e adotados foram compilados por PE em uma tabela. Além disso, foi feita uma outra tabela compilando os intervalos de α (α mín e α máx) resultantes da NBR 15.220-3, juntamente com os da NBR 15.575-4 (ABNT, 2013d).

$$\alpha \text{ máx} = \frac{FS_o \text{ máx}}{4.U} \quad (3)$$

Onde:

α máx: absorptância solar máxima da superfície externa da parede da fachada;

FS_o máx: fator solar de elementos opacos máximo (%);

U: transmitância térmica (W/m².K).

A densidade lumínica foi calculada considerando as FÓRM. 4. As demais fórmulas para as variáveis da FÓRM. 4 se encontram no Apêndice I. U e resistência térmica da parede (R_t) dos outros elementos construtivos foram calculados da mesma forma que as paredes, seguindo as fórmulas da NBR 15.220-2 (ABNT, 2005b) expressas no Anexo II. As PE paramétricas selecionadas como amostra para as simulações (com U pré-estabelecidos) tiveram seus R_t definidos pela FÓRM. 5.

$$DL = \frac{PLa}{A} \quad (4)$$

Onde:

DL: densidade lumínica (W/m²);

PLa: potência lumínica do ambiente (W);

A: área do ambiente considerado (m²).

$$R_t = \left(\frac{1}{U}\right) - R_{se} - R_{si} \quad (5)$$

Onde:

Rt: resistência térmica da parede ((m².K)/W);

U: transmitância térmica (W/(m².K)) – sendo que $1/U = R_t$: resistência térmica total ((m².K)/W);

Rse: resistência térmica superficial externa de fluxo horizontal ((m².K)/W);

Rsi: resistência térmica superficial interna de fluxo horizontal ((m².K)/W).

As transmitâncias térmicas calculadas pelo *DesignBuilder* (Udb) resultante de cada elemento construtivo e os valores considerados nesse cálculo de transmitância no programa foram calibrados pelas transmitâncias térmicas calculadas nesta dissertação (Uc) e pelas resistências superficiais de cada elemento construtivo de acordo com a NBR 15.220-2 (ABNT, 2005b; FROTA; SCHIFFER, 2003 - Apêndice II). Esse procedimento permitiu a confirmação do U encontrado e a identificação de possíveis falhas no cálculo do *DesignBuilder* ao se analisar cada valor de cálculo considerado no programa.

As simulações foram feitas para se obter as temperaturas operativas horárias (T.O.h) do ambiente de estudo com e sem ocupação. Esses dados foram organizados em planilhas. Assim, como resultado dessa etapa, foi obtido as T.O.h com e sem ocupação de todos os cenários ((PE/U x α) por combinação de orientações - CO). Optou-se por analisar e organizar os resultados por CO e para todos as combinações possíveis dos pontos cardeais para que os mesmos fossem mais condizentes com as situações reais de uso, como sugerido por Sorgato, Melo e Lamberts (2013), uma vez que cada CO possui suas particularidades conforme a geometria solar que influenciam diretamente nas estratégias e soluções bioclimáticas a serem tomadas.

As temperaturas operativas mínimas e máximas (T.O. mín e máx) de conforto para cenários com ocupação para Vitória foram calculadas de acordo com as fórmulas da ASHRAE 55 (2013), considerando 80% de aceitabilidade por parte dos usuários (FÓRM. 6 e 7).

$$T.O.mín = (0,31 * T_m) + 14,3 \quad (6)$$

$$T.O.máx = (0,31 * T_m) + 21,3 \quad (7)$$

Onde:

T.O.mín.: temperatura mínima de conforto (°C);

T.O.máx.: temperatura máxima de conforto (°C);

Tm.: temperatura média mensal do ar externo (°C).

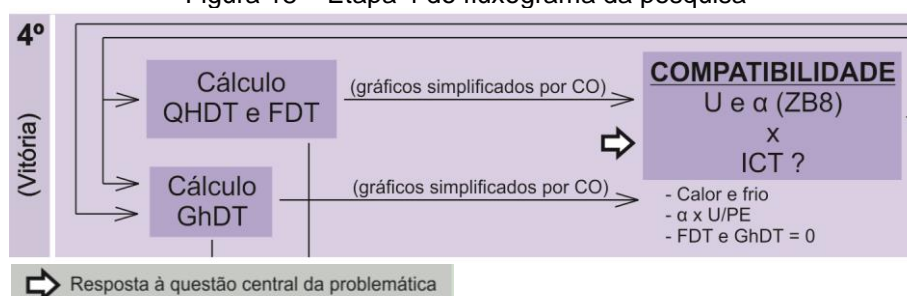
As T.O.h mín e máx de conforto sem ocupação foram calculadas considerando a diferença entre as T.O. mensais mín e máx de conforto com ocupação e as médias das ocupações (T.O.h com ocupação menos o T.O.h sem ocupação) de cada α de cada hora. Ressalta-se

que os objetos de análise da pesquisa, propriedades térmicas das paredes, referem-se a cenários sem ocupação, pois as normas de desempenho desconsideram a ocupação (ABNT, 2005; 2013). No entanto, os parâmetros de verificação, as temperaturas operativas mínimas e máximas de conforto que subsidiam o estabelecimento dos índices de conforto, consideram a ocupação por estarem relacionados com os usuários e sua relação térmica com o ambiente construído em que estão inseridos.

Dessa forma, como os parâmetros da norma tratam de cenários sem ocupação e o parâmetro de verificação com ocupação e como os referenciais de conforto são para cenários com ocupação (ASHRAE, 2013), traçou-se essa estratégia de simular todos os cenários selecionados com e sem ocupação a fim de se obter a parcela referente especificamente à ocupação (subtração de um pelo outro) e com isso também conseguir obter os referenciais de T.O. mín e máx de conforto para cenários sem ocupação. Dessa forma, foram obtidas as T.O.h de referência sem ocupação de todos os cenários simulados.

ETAPA 4: compatibilidade desempenho e conforto térmico

Figura 18 – Etapa 4 do fluxograma da pesquisa



Fonte: A autora, 2019.

Foram definidos três índices de conforto para análise das T.O.h: FDT, QHDT e GhDT. GhDT foi utilizado em substituição ao IDT nessas análises devido à necessidade de se trabalhar com índices voltados para análises horárias, porém de forma indireta os IDT foram encontrados visto que os GhDT foram somados. Já em relação ao FDT e QHDT, ora um foi utilizado ora outro conforme o dado mais importante para o tipo de análise (se por porcentagem ou por dias).

De acordo com os dados extraídos de T.O.h das simulações com cenários com e sem ocupação, foi possível quantificar QHDT e FDT de cada α de cada PE/U de todas CO. Resultou-se desta etapa a obtenção dos valores de QHDT e FDT de todos os cenários simulados - $(U/PE \times \alpha) \times CO$, com e sem ocupação, por calor e por frio.

Tendo os valores de T.O.h com e sem ocupação e as T.O. limites de conforto com ocupação, foi possível quantificar GhDT de cada α de cada PE/U de todas CO. Resultou-se desse

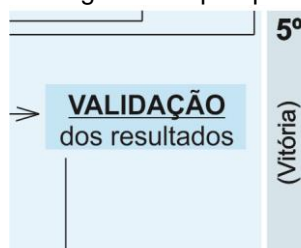
procedimento a obtenção dos valores de GhDT dos cenários simulados sem ocupação - $(U/PE \times \alpha) \times CO$, sem ocupação, por calor e por frio.

Foram gerados gráficos simplificados de FDT por calor e por frio de cada α de cada PE/U dos cenários sem ocupação a fim de se identificar se existiam e quais eram os intervalos de U e α por CO que atendessem aos parâmetros de conforto térmico (FDT = 0%). Assim, os FDT foram analisados no intuito principal de se identificar se existiam cenários em que as propriedades térmicas de desempenho fossem compatíveis com esse índice de conforto térmico adaptativo baseado em 80% de aceitabilidade por parte dos usuários (ASHRAE, 2013) – isto é, que o FDT fosse igual a zero.

Os gráficos foram organizados de modo que os FDT de cada CO pudessem ser facilmente comparados visualmente (gráficos pequenos). Esse mesmo procedimento foi feito para GhDT. Como resultado dessa etapa, foram identificados os cenários $((U/PE \times \alpha) \text{ por CO})$ sem ocupação com FDT = 0% e GhDT = 0 – isto é, cenários cujos parâmetros de desempenho térmico fossem compatíveis com os índices de conforto térmico.

ETAPA 5: Validação dos resultados

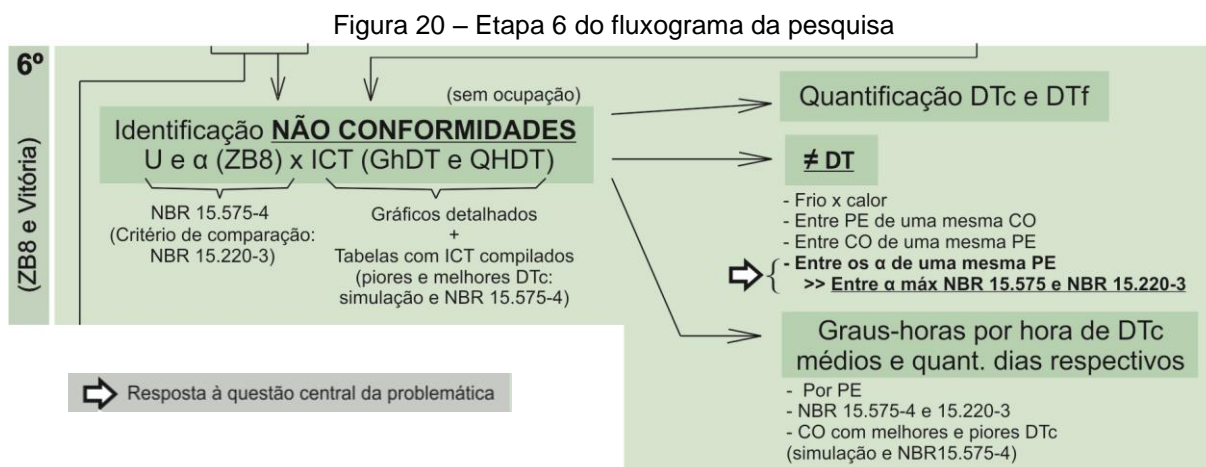
Figura 19 – Etapa 5 do fluxograma da pesquisa



Fonte: A autora, 2019.

Essa etapa foi desenvolvida em função dos resultados parciais obtidos como forma de validá-los.

ETAPA 6: não conformidades entre parâmetros de desempenho térmico e índices de conforto

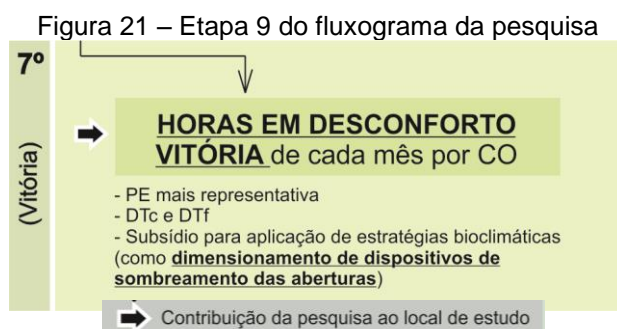


Fonte: A autora, 2019.

Em seguida à etapa de validação dos resultados, foram feitas as análises detalhadas de GhDT e de QHDT por calor e por frio de cada cenário sem ocupação (U/PE x α) para cada CO, considerando os α máx da NBR 15.575-4 (parâmetros de estudo) e da NBR 15.220-3 (parâmetros de comparação). Essas análises foram feitas por meio de gráficos maiores e com marcação dos α máx das normas de desempenho associados com tabelas com os valores dos índices de conforto de cada cenário e também por meio de tabelas com as compilações dos valores das CO com pior e melhor desempenho de cada norma. Com este procedimento cuja intenção foi analisar as não-conformidades de U e α da NBR 15.575-4 com os referenciais de conforto térmico, foi possível obter os seguintes resultados:

- Quantificação dos DTc (todos os cenários sem ocupação);
- Graus-horas, quantidade de dias e diferenças em DTc por calor e por frio entre não conformidades dos cenários com α máx NBR 15.575-4 e α máx NBR 15.220-3;
- Graus-horas, quantidade de dias, graus-horas/ hora de desconforto médios e diferenças em DTc por calor entre não conformidades dos cenários da pior e melhor CO com α máx NBR 15.575-4 e α máx NBR 15.220-3.

ETAPA 7: horas em desconforto térmico Vitória



Fonte: A autora, 2019.

Selecionou-se como contribuição para Vitória o estabelecimento do intervalo de horas por mês com os respectivos graus-horas de desconforto térmico (QHDT e GhDT respectivamente) por frio e por calor para os cenários com e sem ocupação da edificação para cada CO. Sem ocupação para servir como base de dados para avaliações exclusivamente de índices e desempenhos e com ocupação para prover dados para análise de conforto térmico, considerando os cenários reais de uso, conforme orientações de Sorgato, Melo e Lamberts (2013).

Para isso, no entanto, selecionou-se uma parede que mais atendesse aos padrões construtivos de edificações residenciais de Vitória: PE 2,50. Esta foi escolhida por seu U representar um valor próximo e intermediário entre os das PE mais utilizadas em Vitória⁷, além de representar um valor relativamente médio entre as opções de U admissíveis no Catálogo do INMETRO (BRASIL, 2013) tendo em vista a ZB8 (ABNT, 2005c). Considerou-se também um α padrão de 0,20 por ter relação com as duas cores mais utilizadas (branco e bege) nas paredes externas levantadas de edifícios residenciais de Vitória de acordo com os resultados das entrevistas e questionários aplicados nesta pesquisa.

Observa-se que nesta pesquisa cada α foi associado a uma cor de acordo com as estratégias metodológicas e com o Catálogo do INMETRO (BRASIL, 2013), porém cada cor nessa mesma referência apresenta variações de α conforme o tipo de tinta e tonalidade da cor. Como o branco pode variar de um α de 0,11 até 0,36 (respectivamente branco látex PVA fosca e branco gelo acrílica semi-brilho – BRASIL, 2013), como muitas opções de tinta branca se aproximam de 0,20 e como o bege (segunda cor mais utilizada em obras residenciais em Vitória) também é representado por 0,20, foi adotado esse α .

Assim, as tabelas de PE 2,50 de cada CO foram copiadas para novas planilhas, mantendo apenas os dados referenciais e os relativos a $\alpha = 0,20$ e foram acrescentadas colunas para cálculo de GhDT com ocupação. Com base nessa tabela, foi feita uma outra tabela (nova aba da mesma planilha) compilando os dados desejados. Destaca-se que os dados dessas tabelas servem para identificar quais são as horas necessárias para aplicação das estratégias de conforto (por frio ou por calor) para Vitória – servindo, por exemplo, para definição dos horários por mês que as janelas necessitam de sombreamento. Serve assim como parâmetro para dimensionamento dos dispositivos de sombreamento especificamente de Vitória – processo que muitas vezes é feito sem critérios objetivos ou com critérios que não consideram todas as condicionantes climáticas do local. Com esse procedimento, obteve-se o último

⁷ PE1 com $U = 2,71 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ e PE2 com $U = 2,34 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$, representados por 2,68 e $2,32 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ com o acréscimo das camadas de tinta.

resultado desta dissertação: total de graus-horas e de dias por horas de cada mês em DTc e em DTf da parede mais representativa de Vitória por CO.

3.1 Método das simulações

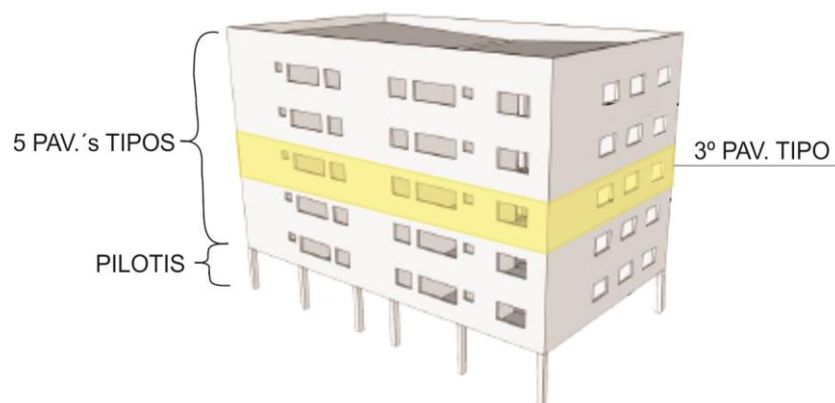
O procedimento de simulação teve como ferramenta operacional o programa *DesignBuilder* 3.0.0.105 (OTEC, 2012), cujo processador é o *EnergyPlus* – recomendado pela NBR 15.575-1 (ABNT, 2013a). As simulações foram formadas por diferentes cenários, combinando U (PE) e α (cor da fachada externa) para cada combinação de orientações solares dos pontos cardeais. Foram feitas simulações com e sem ocupação. Para a sua operação, foi preciso escolher um ambiente de um edifício modelo para se obter as temperaturas operativas – bases para se encontrar os FDT. Assim, o edifício selecionado foi modelado no *software*, no qual também foram inseridos o arquivo climático da cidade de estudo e as informações construtivas da edificação. Além disso, nas simulações com ocupação também foram inseridos os dados de entrada acerca dos usuários, dos equipamentos e das atividades previstas no ambiente analisado. Seus dados de entrada e seus procedimentos bem como a forma que os resultados foram analisados são apresentados nos subitens a seguir.

3.1.1 Ambiente e edifício modelo

A edificação escolhida para processamento das simulações é um edifício de apartamentos de dois quartos – tipologia mais representativa entre as unidades em construção, vendidas e disponíveis na Região Metropolitana da Grande Vitória (SINDUSCON-ES, 2017). O edifício modelo, adaptado de Nico-Rodrigues (2015), possui seis pavimentos, sendo o primeiro pilotis; e os demais, tipos (FIG. 21). São quatro apartamentos por pavimento tipo e o apartamento, com cerca de 70m², é composto por cozinha, área de serviço, sala, circulação, banheiro, quarto 1 e quarto 2 – conforme identificado na FIG. 22.

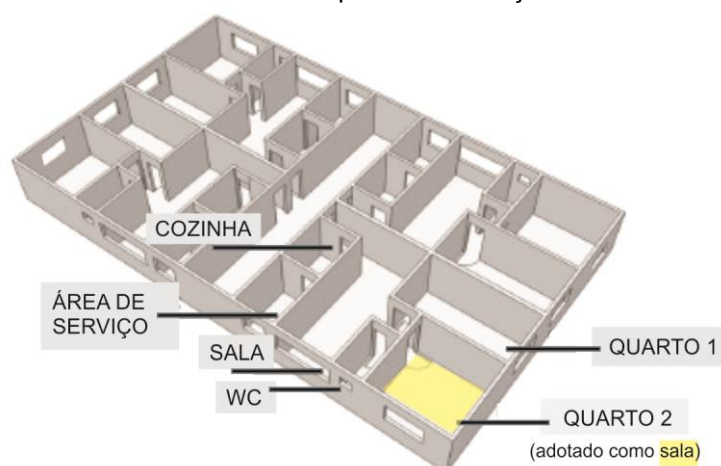
O pavimento escolhido foi o terceiro tipo por ser intermediário (FIG. 21). Com isso, minimizam-se as interferências térmicas da cobertura e do pilotis conforme recomendação da NBR 15.575-1 (ABNT, 2013a), uma vez que a análise visa ao ganho térmico através das fachadas. Espacialmente o ambiente escolhido foi o do quarto 2 por ser de longa permanência e por ter duas fachadas expostas à radiação solar. Porém, o quarto 2 foi considerado desempenhando função de sala (FIG. 22). Isso porque uma sala normalmente é usada em horários menos favoráveis termicamente, assim como suas atividades se comparadas ao funcionamento de um quarto e porque se deve optar pela situação mais crítica termicamente para ambientes analisados a nível de projeto conforme diretrizes da NBR 15.575-1 (ABNT, 2013a).

Figura 21 – Edifício modelo com destaque para o pavimento trabalhado



Fonte: NICO-RODRIGUES, 2015, p. 104, adaptações da autora.

Figura 22 – Pavimento tipo, com destaque para o ambiente selecionado para as simulações



Fonte: NICO-RODRIGUES, 2015, p. 103, adaptações da autora.

Em termos de arranjo espacial do ambiente simulado, foram feitos estudos em oito combinações de orientações (CO): 1ON, 2NL, 3LS e 4SO (planta 1); 5NO, 6OS, 7SL e 8LN (planta 2, FIG. 23). A primeira letra da identificação representa a orientação da fachada da janela; e a segunda, a fachada cega – e o número antes da CO foi colocado apenas para facilitar a identificação das mesmas. Para isso, a posição da janela no modelo original foi alterada nos cenários com a fachada da janela para a orientação O ou L (setas laranjas FIG. 23). Ademais, visualiza-se na FIG. 23 a pior e melhor CO em termos de desconforto térmico por calor pontuadas pela NBR 15.575-1 (ABNT, 2013a) com os destaques em vermelho suave e azul claro em volta da própria CO respectivamente.

Figura 23 – Ambiente de estudo e suas CO trabalhadas.



Fonte: A autora, 2019, com base nos dados de NICO-RODRIGUES, 2015.

3.1.2 Dados de entrada

Como dados de entrada das simulações, têm-se: a) dados climáticos; b) dados gerais da edificação e complementares; c) dados específicos dos elementos construtivos; e d) Absortâncias solares.

A) Dados climáticos

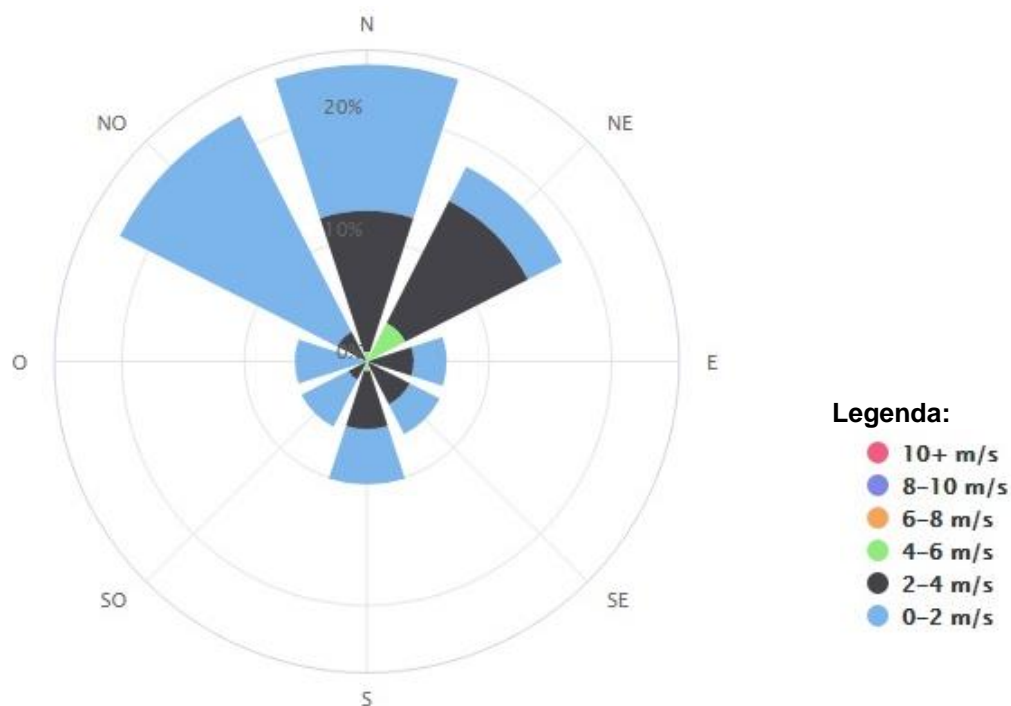
Os dados climáticos foram obtidos do arquivo climático epw de Vitória do Laboratório de Eficiência Energética em Edificações (LabEEE, 2016), o qual foi inserido juntamente com os valores de temperatura externa (TAB. 9) no arquivo inicial desta pesquisa no *DesignBuilder*. Os valores das temperaturas foram extraídos das Temperaturas Compensadas Médias diárias para o intervalo de 01/01/2016 a 31/12/2016 (ano do arquivo climático) no site do Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa (BDMEP) do INMET. Com essa média diária, calculou-se a média mensal em planilha do Excel. Além disso, no arquivo inicial do *DesignBuilder* também foram inseridos os dados de velocidade e frequência dos ventos de Vitória, obtidos pelo site ProjetEEE (UFSC, 2016, GRÁF. 2), pelo qual se percebe que os ventos predominantes são das orientações N, NO e NE, porém são mais intensos nas orientações NE, N e S.

Tabela 9 – Temperaturas externas mensais de Vitória

MÊS	Temperatura Externa Média (°C)
Janeiro	27,01
Fevereiro	28,92
Março	28,10
Abril	27,70
Maio	24,85
Junho	22,50
Julho	22,77
Agosto	23,47
Setembro	24,17
Outubro	24,20
Novembro	24,94
Dezembro	26,72

Fonte: A autora, 2019, com base nos dados de: INMET, 2016, s/. p., adaptações da autora.

Gráfico 2 – Rosa dos Ventos de Vitória



Fonte: UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA (UFSC), 2016, s/ p⁸.

⁸ Disponível em: <http://projeteee.mma.gov.br/dados-climaticos/?cidade=ES++Vit%C3%B3ria&id_cidade=bra_es_vitoria-salles.ap.836490_try.1962>. Acesso em: 19 jan. 2019.

B) Dados gerais da edificação e complementares

Além dos dados climáticos, foram inseridos os dados da edificação e complementares no arquivo inicial do *DesignBuilder* desta pesquisa. Os dados da edificação são os dados de dimensões, janela (TAB. 10), gesso, laje de piso interna, laje de piso externa, cobertura, PI e PE (no próximo item: “Dados específicos dos elementos construtivos”) do edifício modelo. Já os dados complementares, habilitados apenas nas simulações com ocupação, subdividiram-se nos de controle do ambiente e nos de ocupação (TAB. 11).

Tabela 10 – Dados gerais do edifício modelo

DIMENSÕES		
Área do aptº	74,55 m²	Obtido pelo arquivo em AutoCAD de Nico-Rodrigues, 2015
Área do ambiente	14,82 m²	Obtido pelo arquivo em AutoCAD de Nico-Rodrigues, 2015
Área da janela	2,34 m²	(NICO-RODRIGUES, 2015, p. 106)
Área de ventilação	1,05 m² (45%)	(BRASIL, 2012b, p. 200)

Fonte: A autora, 2019, com base nas referências da coluna direita.

Tabela 11 – Dados de entrada complementares

CONTROLE DO AMBIENTE				
Iluminância desejada		150,00 lx	(ABNT, 1992, p.11) ¹	
Densidade lumínica		...	Resultado 4.3.1	
Temperatura de "acionamento" da ventilação natural ²		22 °C		
Temperatura de "acionamento" da ventilação artificial ³		26 °C		
OCUPAÇÃO				
Pessoas		1 homem, 2 mulheres e 1 criança (aptº e sala)	(IBGE, 2010, s/ p.)	
Densidade		0,0538 pessoas/ m² (aptº) 0,1880 pessoas/ m² (sala)		
Fator metabólico		0,86		
Equipamento: TV		9,64 W/m²	Considerando 1 TV de 32" (135W)	
Tipo de atividade		Sentado		
Roupa	Inverno	0,60 clo ⁴	(LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2013, p.49)	
	Verão	0,26 clo ⁵		
Rotina	Dias úteis	17:00 - 22:00	30%	TERRA, 2017
	Finais de semana	15:00 - 20:00	40%	

Nota:

¹ Norma atualizada pela ABNT (2013g), porém foi utilizada por esta não contemplar padrões de iluminância desejados para ambientes residenciais.

² Temperatura a partir da qual se considerou que as janelas são abertas.

³ Temperatura a partir da qual se considerou que os ventiladores são ligados.

⁴ Foram consideradas as seguintes vestimentas: camiseta - 0,09 clo; jaqueta - 0,22 clo; calça média - 0,25 clo; e sapato - 0,04 clo.

⁵ Foram consideradas as seguintes vestimentas: camiseta - 0,09 clo; bermuda - 0,15 clo; e sandália - 0,02 clo.

Fonte: A autora, 2019, com base nas referências da coluna direita.

C) Dados específicos dos elementos construtivos

A caracterização dos elementos construtivos no *DesignBuilder* foi feita pela inserção dos dados de R_t , além dos dados necessários de condutâncias térmicas superficiais (h_{si} e h_{se} – inverso de R_{si} e R_{se} respectivamente). Estas foram fixadas na aba “*surface properties*” conforme os valores definidos na NBR 15.220-2 (ABNT, 2005b). Assim, os R_t do gesso, laje de piso interna, laje de piso externa, cobertura, PI e PE foram calculadas em função de suas camadas de composição (ABNT, 2005b⁹).

O valor de RT (inverso de U e resultado da soma de R_t com R_{si} e R_{se} ou de R_t com o inverso de h_{si} e h_{se}) foi utilizado de forma fragmentada (R_t da parede e h_{si} e h_{se} referente às superfícies), garantindo que os valores de condutâncias superficiais fossem considerados os certos pelo processador do programa, visto que esse item pode ser habilitado ou desabilitado no programa e que suas referências de valores para cálculos são diferentes por se tratar de um *software* não brasileiro.







Observa-se que a composição, o material e a espessura de cada camada das PE não representaram variáveis entre PE neste estudo, visto que cada parede foi identificada por sua resistência térmica (R_t) conforme opção escolhida de inserção dos dados de entrada das paredes no *DesignBuilder*. Assim, a única variável de uma PE para outra é o U , sendo que para cada U se trabalhou com a variável principal da problemática: α .

Logo, cada PE representa uma exemplificação e representação construtiva de U . Existem algumas particularidades na inserção de U no programa que alteraram um pouco o valor de U das PE de Vitória – explicada nos Resultados 4.3.1. Por isso, elaborou-se uma tabela compilando os U utilizados nas simulações (4 PE e 1 PI) com os respectivos U adotados na pesquisa, com o nome considerado na identificação e com o R_t de cada parede.

Acrescenta-se que a especificação das condutâncias superficiais e do sentido do fluxo de calor foi feita em função de o elemento construtivo ser vertical ou horizontal e de sua posição (externo ou interno). Para isso, foram utilizados os valores expressos na TAB. 12.

⁹ Ver também “Metodologia de cálculo de transmitância térmica”.

Tabela 12 – Equivalência de resistência e condutâncias térmicas superficiais dos elementos construtivos conforme o sentido do fluxo de calor

$R_{si} (m^2.K)/W$			$R_{se} (m^2.K)/W$		
Direção do fluxo de calor			Direção do fluxo de calor		
Horizontal	Ascendente	Descendente	Horizontal	Ascendente	Descendente
					
0,13	0,10	0,17	0,04	0,04	0,04
$h_{si} (W/m^2.K)$			$h_{se} (W/m^2.K)$		
7,69	10,00	5,88	25,00		

Fonte: ABNT, 2005b, p. 7, adaptações da autora.

A relação dos dados de entrada utilizados para cada elemento construtivo da edificação é exposta a Apêndice III. Na identificação de cada item, tem o nome do termo a que se refere conforme especificação do programa *DesignBuilder* entre parênteses e na identificação das condutâncias superficiais se considerou que os elementos internos possuem h_{se} é igual a h_{si} por não terem nenhuma face do elemento voltada para o exterior (FROTA; SCHIFFER, 2003). Além disso, salienta-se que os dados de parede interna foram mantidos os mesmos em todas as simulações, obtidos da caracterização de PI mais utilizada em obras residenciais em Vitória, enquanto que os dados de parede externa variaram entre as quatro PE selecionadas para a amostra de simulação da pesquisa.











Reforça-se que no total são quatro PE: duas obtidas em função dos critérios de transmitância térmica da NBR 15.575-4 (PE paramétricas/ fictícias) e duas PE com desempenho térmico satisfatório mais utilizada em obras residenciais de Vitória para os dois tipos de material mais utilizados (PE reais). Os dados de entrada gerais dessas PE e as propriedades térmicas dos materiais que as constituem são expostos no Apêndice III.

D) Absortâncias solares

A definição dos α máx adotados respeita aos requisitos das NBR 15.220-3 (ABNT, 2005c) e 15.575-4 (ABNT, 2005d). Assim, o valor máximo possível adotado foi 1,00 dependendo do U da PE. Os demais valores considerados foram estipulados em intervalos fixos de 0,10 a fim de se permitir que as análises fossem feitas para todo o espectro de cor visível em uma gama de cores de referência (ABNT, 2003b; BRASIL, 2012b) (TAB. 13) e de prover um padrão que facilitasse as análises das mudanças dos índices de conforto para uma mesma PE/U. Dessa forma, os valores de α foram arredondados. Totalizaram-se dez opções de α , tendo cada uma a respectiva indicação do tipo de tinta. Priorizou-se nesse quesito pelas tintas PVA foscas por serem mais comuns e baratas. Salienta-se, assim, que as cores escolhidas podem ser equiparadas com qualquer outra de absortância similar segundo os mesmos referenciais

(DORNELLES, 2008; BRASIL, 2013). Observa-se que os dados da TAB. 13 também serviram de referência para definição do α dos dados de entrada dos demais elementos construtivos, porém a variação de α de uma simulação para outra foi apenas nas PE.

Tabela 13 – Absortâncias solares das superfícies externas das paredes da fachada

Nº DE IDENTIFICAÇÃO ¹	COR ADOTADA	α ADOTADO*	TIPO DE TINTA ¹
50	 Cinza Claro**	0,10	Acrílica Fosca
61	 Bege	0,20	Acrílica Fosca
34	 Amarela	0,30	Látex PVA Fosca
43	 Laranja	0,40	Látex PVA Fosca
42	 Rosa	0,50	Látex PVA Fosca
78	 Vinho	0,60	Látex PVA Fosca
69	 Cinza médio	0,70	Látex PVA Fosca
77	 Verde bem escuro	0,80	Látex PVA Fosca
22	 Cinza escuro	0,90	Acrílica Semi-Brilho
75	 Preta	1,00	Látex PVA Fosca

Fonte: A autora, com base nos dados de INMETRO: ¹ BRASIL, 2013, s/ p.

Notas:

* Valor aproximado (casa decimal arredondada) com base em BRASIL, 2013,

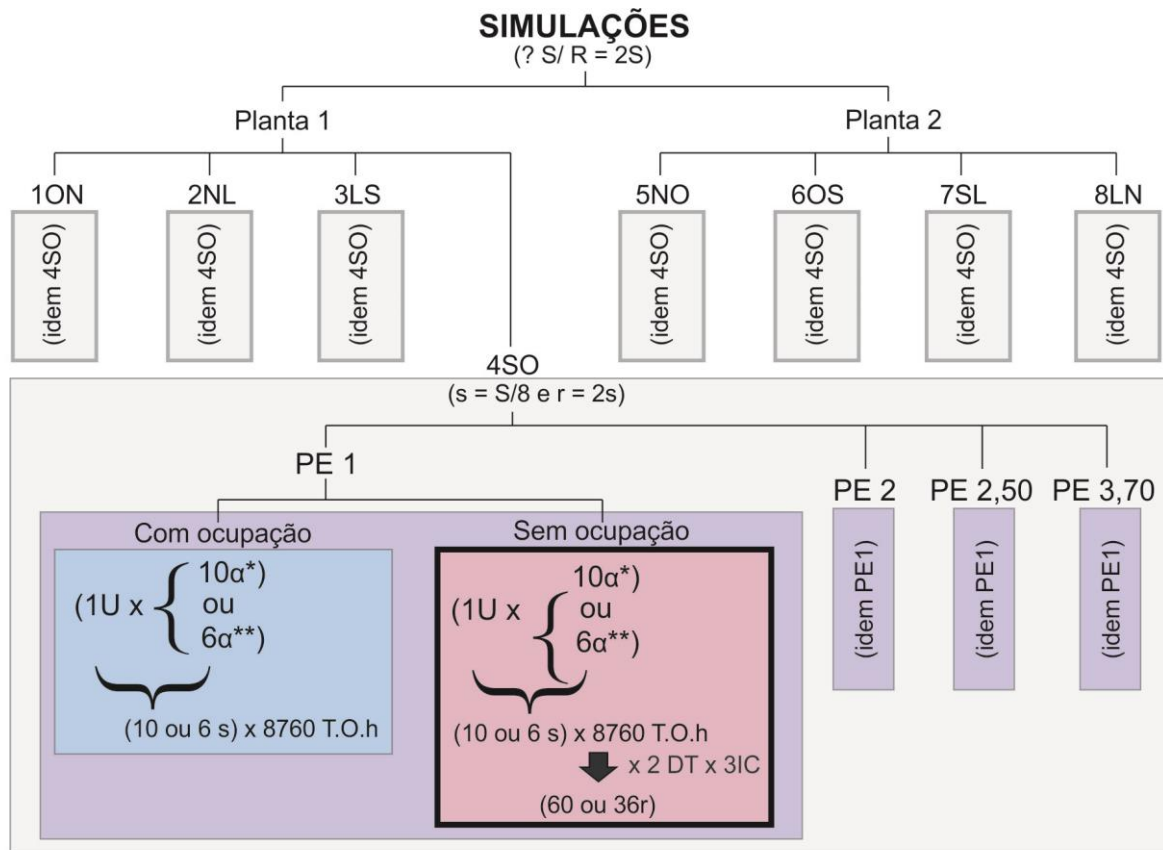
**O branco não foi usado por questões gráficas de visibilidade da cor x fundo.

Cada norma determina um α máx conforme o U da PE. Por isso cada PE simulada, representando os U trabalhados, foi associada a cada um dos α permitidos para seu U, gerando cenários diferentes de simulação (ver FIG. 24 do próximo item). Reforça-se que nem toda U foi simulado com os dez α , pois para se definir a quantidade de α que cada U foi relacionado dependeu do valor máximo admissível pelas NBR's 15.220-3 e 15.575-4.

3.1.3 Simulações (procedimento)

As simulações foram organizadas conforme o fluxograma da FIG. 24. Foram simulados cenários de U de cada PE com os respectivos α admissíveis daquele U, gerando 8760 T.O.h para cada cenário de combinação de U com α . Os mesmos cenários de cada PE foram simulados com e sem ocupação. Estes representam o foco do objeto de estudo, visto que os parâmetros de desempenho são específicos da edificação (não consideram os usuários). Já os cenários com ocupação foram simulados para se obter os referenciais mínimo e máximo de T.O – uma vez que esses critérios advêm de normas de conforto que consideram o usuário.

Figura 24 – Fluxograma das simulações e resultados estimados



Legenda:

- Resultados utilizados nas verificações dos parâmetros das normas com os índices de conforto. Obs.: os gráficos de FDT e QHDT foram extraídos dos resultados desses conjuntos das quatro PE de cada CO para DT por frio e por calor
 - Representam as T.O.h utilizadas para encontrar as T.O. mín e máx de referência para as T.O.h sem ocup.
 - Cenários de simulação e resultados compilados em uma tabela (aba da planilha da respectiva CO)
 - Cenários de simulação e resultados de uma CO
- * - Utilizado para PE com $U \leq 2,50 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ r - Resultados parciais
 ** - Utilizado para PE com $U > 2,50 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ R - Resultados totais
 s - Simulações parciais (representam os cenários simulados de cada CO)
 S - Simulações (representam os cenários simulados de todas as CO)

Nota: demais siglas, ver lista respectiva na parte pré-textual desta dissertação.

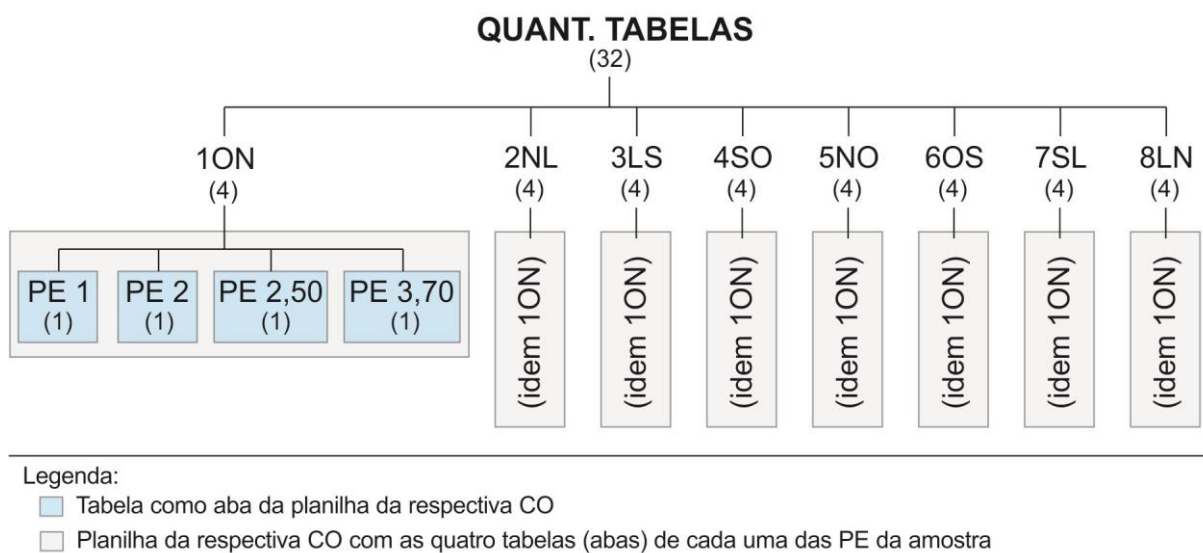
Fonte: A autora, 2019.

Em termos de operação, foi criado um primeiro arquivo com os dados gerais de entrada da pesquisa no *DesignBuilder* (inclusive os dados de ocupação) com uma das PE selecionadas (1 U), com um α de uma combinação de orientações. Esse cenário foi simulado, retirando como dado de saída as temperaturas operativas horárias do ambiente trabalhado, o quarto 2 configurado como sala. Esse procedimento foi repetido para todos os demais cenários (alterando por vez apenas uma variável) e todo esse conjunto repetido para os mesmos cenários sem ocupação.

3.1.3.1 Obtenção dos índices de conforto

Para se obter os índices de conforto, foram criadas 32 tabelas no Excel com os valores das T.O.h extraídos como dados de saída das simulações. As tabelas foram diferenciadas por PE e por CO – cada PE de cada CO representa uma tabela.

Figura 25 – Fluxograma da quantidade de tabelas com os resultados das simulações.



Fonte: A autora, 2019.

A estrutura básica das tabelas com os dados de saída das simulações com cenários **sem ocupação** segue o modelo da TAB. 14. Cada tabela é respectiva a uma PE/ U de uma CO e cada coluna compila as 8760 T.O.h das absorções trabalhadas e admissíveis (ABNT, 2013d) conforme o U da PE. As colunas finais se referem às T.O. mensais mín e máx de conforto térmico aceitas pela ASHRAE 55 (2013) considerando 80% de aceitabilidade por parte dos usuários. As T.O.h rosas das colunas de α (cenários simulados) representam as T.O.h com valores superiores à T.O.máx permitida no mês respectivo; e as azuis, as T.O.h com valores inferiores à T.O.mín permitida no mês respectivo.







As fórmulas utilizadas para se obter esses valores foram: (frio) =CONT.SE(intervalo das T.O.h do respectivo α e mês – valores acima dessa soma; “< valor de T.O. mín”); (calor) =CONT.SE(intervalo das T.O.h do respectivo α e mês – mesmo intervalo do frio; “>= valor de T.O. máx + 0,01”). Ressalta-se que com essas fórmulas foram contabilizadas a quantidade de células (vezes/ horas) em que a T.O.h do respectivo α do respectivo mês da PE/U trabalhada na tabela que o critério de conforto não foi atendido. Assim, os valores das células (as T.O.h) não foram somadas, mas sim a quantidade de vezes em que elas estavam azuis (frio) ou vermelhas (calor).

Essa soma foi mensal por cada mês possuir referências de T.O. mín e máx diferentes conforme a temperatura média mensal. Ao final de cada coluna, foram calculados os valores totais de QHDT somando os doze QHDT mensais de cada coluna (α). Com isso, foi possível encontrar os FDT totais também (TAB. 15). Observa-se que esses QHDT e FDT dos cenários com ocupação foram calculados como um fornecimento de dados para futuras pesquisas, pois para esta foram usados apenas os índices de conforto dos dados sem ocupação. Essas simulações com ocupação e esses procedimentos para se obter os T.O. de conforto sem ocupação precisaram ser feitos por essas referências de T.O. mín e máx advirem de situações com ocupação (normas de conforto – no caso ASHRAE, 2013) e os parâmetros testados serem de condições sem ocupação (normas de desempenho – no caso, NBR15.575-4 – ABNT 2013d).

Tabela 14 – Exemplo tabela resumida para cenários sem ocupação – obtenção índices de conforto

Tabela 14 – Exemplo tabela resumida para cenários sem ocupação – obtenção índices de conforto							
MÊS	HORÁRIO	TEMPERATURA OPERATIVA HORÁRIA (°C) (T.O.h)				T.O. mín¹ (°C)	T.O. máx¹ (°C)
		α					
		0,10	0,20	0,30	...		
J	Dia 1 hora 1	28,00	28,50	29,00	...	23,50	28,50
	Dia 1 hora 2	27,30	27,90	28,40	...		
	...	27,60	28,80	29,10	...		
F	Dia 3 hora 19	28,10	28,60	29,40	...	23,30	28,30
...
A	Dia 10 hora 12	20,00	20,75	21,41	...	21,40	26,40
...
D	Dia 31 hora 24	28,20	28,50	29,00	...	23,00	28,00
QHDT 		1	1	0	...		
QHDT 		1	3	4	...		
FDT 		*	*	*	...		
FDT 		*	*	*	...		

Legenda:



-  T.O. mensal mínima de referência para Vitória - ASHRAE 55 (80% aceitabilidade)
-  T.O. mensal máxima de referência para Vitória - ASHRAE 55 (80% aceitabilidade)
-  T.O. horária do ambiente menor do que a T.O. mín. admissível
-  T.O. horária do ambiente maior do que a T.O. máx. admissível
-  Frio
-  Calor

Nota: QHDT e FDT são totais em relação ao ano considerado (2016). Obs.: os QHDT totais são resultantes das somas de cada mês

* Ver TAB.

Fonte: A autora, 2019, com base nos dados de: ¹ ASHRAE, 2013.

Tabela 15 – Obtenção de FDT para calor e para frio

	α			
	0,10	0,20	0,30	...
...				
FDT 	* = QHDT ¹ / 8760	*	*	...
FDT 	*	*	*	...

¹ QHDT obtido na TAB.

Fonte: A autora, 2019.

Para acrescentar as T.O.h dos cenários sem ocupação e achar os outros dados desejados, foram acrescentados em cada α algumas colunas adicionais – como exemplificado pelo $\alpha = 0,10$ na TAB. 16. Os dados da coluna “SEM ocup.” são as T.O.h extraídas das simulações com os mesmos cenários porém sem ocupação. A parcela de T.O.h da ocupação referente à cada hora foi obtido subtraindo a T.O.h com ocupação da sem ocupação (FÓRM. 8). Com análises iniciais, percebeu-se que as T.O.h referentes à ocupação variaram para cada hora de um mesmo α e para cada α de uma mesma hora. Logo, o procedimento para descobrir as T.O. mín e máx para o conforto dos cenários sem ocupação foi feito por hora e não mensal como as T.O. de referência para os cenários com ocupação.

Assim, para se definir a T.O. mín e máx de conforto para os cenários sem ocupação se teve como base os T.O. mín e máx com ocupação com o desconto da média das somas das ocupações de cada α (FÓRM. 9 e 10). Com as T.O. mín e máx sem ocupação estabelecidas, foi possível encontrar os GhDT sem ocupação para frio e para calor (FÓRM. 11 e 12). Os GhDT foram calculados apenas para as situações trabalhadas (sem ocupação) e foram encontrados de modo que quando houvesse desconforto (T.O.h menor que T.O.mín ou maior que T.O. máx) que esse valor ficasse positivo – por isso a fórmula invertida entre GhDT frio e calor. Assim, foram aplicadas formatações condicionais de modo que os valores acima de zero ficassem azuis escuros para GhDT por frio e vinhos para os por calor (TAB.20).

$$Ocup. = COM\ ocup. - SEM\ ocup. \quad (8)$$

$$T.O.\ mín\ (sem\ ocup.) = T.O.\ mín\ (com\ ocup.) - média\ (ocup.\ \alpha\ 0,10 + ocup.\ \alpha 0,20 + \dots) \quad (9)$$

$$T.O.\ máx\ (sem\ ocup.) = T.O.\ máx\ (com\ ocup.) - média\ (ocup.\ \alpha\ 0,10 + ocup.\ \alpha 0,20 + \dots) \quad (10)$$

$$GhDT\ frio\ (sem\ ocup.) = T.O.\ mín\ (sem\ ocup.) - SEM\ ocup. \quad (11)$$

$$GhDT \text{ calor (sem ocup.)} = SEM \text{ ocup.} - T.O.máx \text{ (sem ocup.)} \quad (12)$$

Onde:

Ocup: temperatura operativa referente à ocupação (°C);

COM ocup.: temperatura operativa horária dos cenários simulados com ocupação (°C) - base;

SEM ocup.: temperatura operativa horária dos cenários simulados sem ocupação (°C) – pesquisa;

T.O.mín (sem ocup.): temperatura operativa mínima de conforto (pesquisa) – cenários sem ocupação (°C);

T.O.mín (com ocup.): temperatura operativa mínima de conforto com 80% de aceitabilidade (ASHRAE, 2013) – cenários com ocupação (°C);

Ocup: temperatura operativa referente à ocupação (°C);

α : absorptância solar;

T.O.máx (sem ocup.): temperatura operativa máxima de conforto (pesquisa) – cenários sem ocupação (°C);

T.O.máx (com ocup.): temperatura operativa mínima de conforto com 80% de aceitabilidade (ASHRAE, 2013) – cenários com ocupação (°C);





Ocup: temperatura operativa referente à ocupação (°C);





α : absorptância solar;

GhDT frio (sem ocup.): graus-horas de desconforto térmico por frio – cenários sem ocupação;


GhDT calor (sem ocup.): graus-horas de desconforto térmico por calor – cenários sem ocupação.

Tabela 16 – Exemplo da tabela para cenários com e sem ocupação – obtenção índices de conforto

MÊS	HORA	TEMPERATURA OPERATIVA HORÁRIA (°C) (T.O.h)					
		α					
		0,10					...
		COM ocup.	SEM ocup.	Ocup.	GhDT frio (sem ocup.)	GhDT calor (sem ocup.)	...
J	1 ^a	28,00	27,50	0,50	-4,50	-0,50	...
	2 ^a	27,30	26,65	0,65	-3,80	-1,20	...
	3 ^a	27,60	26,77	0,83	-4,10	-0,90	...
...
D	8760 ^a	28,20	27,50	0,70	-5,2	0,20	...
					GhDT	GhDT	...
QHDT		0	0		0,00	0,20	...
QHDT		1	0				...
FDT		*	*				...
FDT		*	*				...

MÊS	HORA	...	T.O.mín ¹ (COM ocup.)	T.O. mín (SEM ocup.)	T.O. máx ¹ (COM ocup.)	T.O. máx (SEM ocup.)
		...				
		...				
		...				
J	1 ^a	...	23,50	23,00	28,50	28,00
	2 ^a	...		22,85		27,85
	3 ^a	...		22,67		27,67
...
D	8760 ^a	...	23,00	22,30	28,00	27,30
		...				
QHDT		...				
QHDT		...				
FDT		...				
FDT		...				

Legenda:

 Frio Calor Célula sem preenchimento

Nota: * Ver TAB. 19

Fonte: A autora, 2019, com base nos dados de: ¹ ASHRAE, 2015.

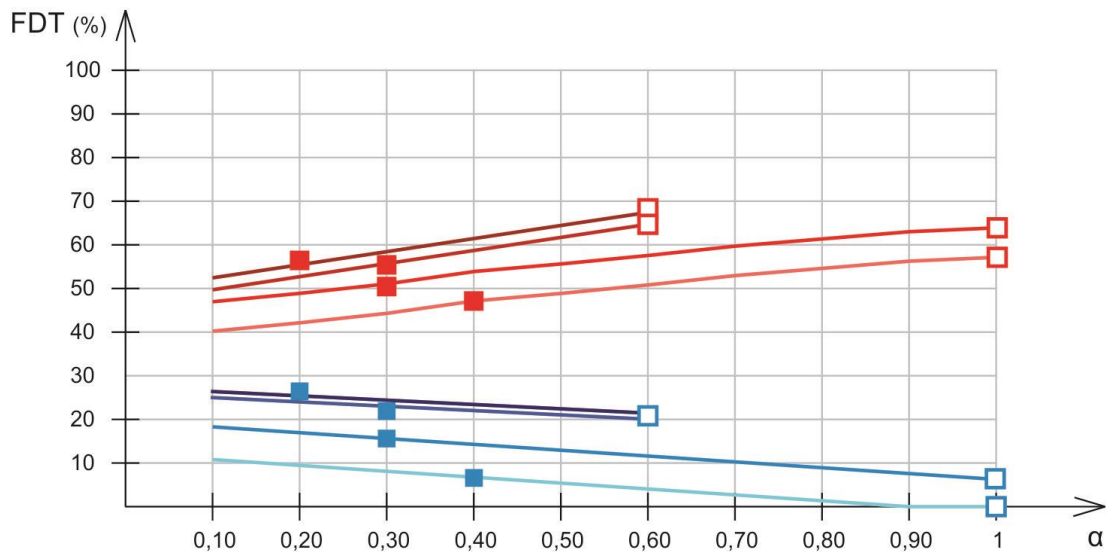
3.1.3.2 Representação e avaliação dos resultados

A forma de representação dos resultados escolhida foi a de gráfico com as opções de α /cor no eixo x e do índice de conforto no eixo y. Um gráfico compila os dados das quatro PE selecionadas como amostra da pesquisa, para as duas condições de desconforto: frio e calor. Essa compilação é feita por CO. Cada gráfico possui oito linhas: duas para cada uma das quatro PE diferentes, sendo uma para o DT por calor e outro por frio. As linhas por frio foram representadas numa escala de cores azuis e as por calor numa escala de cores vermelhas (GRÁF. 3).

Como foram três índices de conforto trabalhados (QHDT, FDT e GhDT) e oito CO (1ON, 2NL, 3LS, 4SO, 5NO, 6OS, 7SL, 8LN), foram gerados 24 tipos diferentes de gráficos. Além disso, foram desenvolvidos dois tipos de apresentação de gráfico: um menor e simplificado, para análises iniciais e gerais que permitissem a comparação visual entre as oito CO; e outro maior e mais detalhado, que foi associado com uma tabela com os valores numéricos de cada índice de desconforto apresentado no gráfico e que desse para distinguir os α máx das duas normas de desempenho: NBR 15.575-4 (ABNT, 2013d) e NBR 15.220-3 (ABNT, 2005c).

O GRÁF. 3 resume a forma de apresentação dos gráficos dos índices de conforto, sendo representado pelo FDT. Os gráficos simplificados foram expostos em tamanho menor do que o GRÁF. 3 e sem identificação dos α máx. Os gráficos mais detalhados foram expostos no padrão do GRÁF. 3, sendo combinados com uma tabela logo abaixo com os valores de cada índice de desconforto apresentada no gráfico. Observa-se que os marcadores de α máx das normas do gráfico não variou o tom da cor como as linhas de cada PE, pois pelas análises iniciais percebeu-se que muitas linhas ficaram muito próximas – logo, um mesmo marcador precisou muitas vezes representar mais de uma linha/ PE. Por isso, a cor dos marcadores foi apenas diferenciada por cor (vermelho para calor e azul para frio). Além disso, salienta-se que a apresentação do gráfico por situação de análise ou foi por QHDT ou por FDT mais o de GhDT, pois aqueles representam os mesmos dados – diferenciam-se apenas na exposição do valor: QHDT por número e FDT por porcentagem.

Gráfico 3 – Exemplo de representação dos resultados



Legenda:

- Desconforto por calor (cada tom representando uma PE)
- Desconforto por frio (cada tom representando uma PE)
- α máximo da NBR 15.220-3 (exemplificativo - a ser calculado conforme U da parede)
- α máximo da NBR 15.575-4

Fonte: A autora, 2019.

Como parâmetro de avaliação, todo resultado que tiver o QHDT, FDT e GhDT maior do que zero significa que não atingiu os 80% de aceitabilidade de conforto térmico da ASHRAE 55 (2013). Assim sendo, os valores maiores do que zero não foram conformes (TAB. 17); e os iguais a zero, conformes, pois alcançaram pelo menos os 80% de condições de prover conforto térmico ao ambiente.

Tabela 17 – Conformidade índices de conforto

QHDT > 0 FDT > 0% GhDT > 0	Não-conforme
QHDT = 0 FDT = 0% GhDT = 0	Conforme

Fonte: A autora, 2019, com base na ASHRAE 55 (2013).

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Normas de desempenho

A TAB. 18 destaca os conjuntos de critérios de adequação das paredes externas da norma estudada, NBR 15.575-4 (ABNT, 2013b), relativos à ZB8. Esses conjuntos de critérios foram comparados com o da NBR 15.220-3 (ABNT, 2005b) para a mesma zona. Em sequência, foram apresentadas na TAB. 19 as transmitâncias térmicas (U) das NBR 15.220-3 e 15.575-4 em função das absorptâncias solares (α máx) referentes a $U_{máx}$ dessas normas (2,50, 3,60 e 3,70 W/m².K – em vermelho e marrom na TAB. 19).

Tabela 18 – Conjuntos de critérios de desempenho térmico das NBR 15.575-4 e 15.220-3 (ZB8)

NBR 15.220-3 ¹	NBR 15.575-4 ²	
Critério de comparação	Critério 1	Critério 2
$U \leq 3,60$ $\longleftrightarrow \approx$	$U \leq 3,70$	$U \leq 2,50$
$\alpha \leq 0,28$	$\alpha \leq 0,60$	$\alpha > 0,60$

Legenda:

- destaque para norma objeto de estudo
- transmitância térmica máxima do conjunto de critérios respectivo
- conjunto de critérios “já existentes” na NBR 15.220-3 (α máximo)
- conjunto de critérios novos em relação à NBR 15.220-3 (α mínimo)
- critério não-existente na norma (variável e calculado conforme U e F_{so} máx da ZB da cidade de inserção do projeto). Obs.: 0,28 não representa o α máx absoluto. U menor permite α maior.

Fonte: A autora, 2019. Retirado de: ¹ABNT (2005c); ²ABNT (2013d).

Tabela 19 – Comparação das U em função de α – NBR 15.220 e 15.575 (ZB8). Destaque para as $U_{máx}$ trabalhadas

α máx		0,10	0,28	0,40	0,60	1,00
						
$U_{máx}$	NBR 15.220 ¹	3,60*	3,60	2,50	1,67	1,00
	NBR 15.575 ²	3,70 (critério 1)				2,50 (critério 2)

Nota: * $U_{máx}$ da NBR 15.220-3 (pelo cálculo, U resulta em um valor maior)

Fonte: A autora, 2019. Retirado de: ¹ABNT, 2005c; ²ABNT, 2013d; BRASIL, 2013.

Na TAB.18, o primeiro conjunto de critérios da NBR 15.575-4 (critério 1) se refere aos critérios com U aproximadamente igual à da NBR 15.220-3 e com α máx assim como na NBR 15.220-3. Já o segundo conjunto (critério 2), refere-se a uma nova forma de apresentação dos critérios, com U significativamente menor associado a uma α mín.

Perante esse panorama, infere-se que a NBR 15.575-4 traz um “novo” conjunto de critérios para os α maiores (cores tendencialmente mais escuras), desde que a parede externa tenha seu U limitado a $2,50 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$. Observa-se que o conjunto de valores de U do critério 2 ($0 \leq U \leq 2,50 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$) está contido no conjunto do critério 1 ($0 \leq U \leq 3,70 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$). Logo, o que diferencia um critério do outro na NBR 15.575-4 é a faixa de α admitida: que no critério 1 é menor ou igual a 0,60 (equivalente a faixa de cor branca ao vinho) e no critério 2 é maior ou igual a 0,60 (do vinho ao preto). Assim, destaca-se que a NBR 15.575-4 admite qualquer valor de absorptância para as superfícies opacas das paredes externas, sendo possível uma especificação de 10 a 100% (ou 0,10 a 1,00) – abrangendo respectivamente desde a cor branca até a preta.

Por outro lado, α máx da NBR 15.220-3 para o U admitido é de 0,28 (TAB. 18). Porém, este não é o maior α máx possível conforme parâmetros dessa norma. A TAB. 19 explicita esse cenário, evidenciando que o α na NBR 15.220-3 é específico para cada U e que, quanto menor o U, maior o α máx. Dessa forma, a NBR 15.220-3 também possibilita que as paredes externas tenham absorptância de 100% (cor preta), equivalendo-se à NBR 15.575-4. A diferença está no $U_{\text{máx}}$ associado à cor.

Na TAB. 19, percebe-se que essa diferença na permissividade de U da NBR 15.575-4 em relação à 15.220-3 para um mesmo α se intensifica conforme as cores escurecem (α maiores). Isso porque no $\alpha = 0,28$ (cor amarela) os U (máximos) das duas normas são praticamente iguais ($3,60 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ NBR 15.220-3 e $3,70 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ NBR 15.575-4 – em marrom na TAB. 19). Já no $\alpha = 0,40$ (cor laranja), o U da NBR 15.575 é 1,5 vez maior do que a da NBR 15.220-3; na $\alpha = 0,60$ (cor vinho), essa relação aumenta para 2,2 vezes; e no $\alpha = 1,00$ (cor preta), para 2,5 vezes. Desse modo, a NBR 15.575-4 se mostra até 60% mais permissiva ao admitir paredes externas pretas 2,5 vezes menos resistentes ao fluxo do calor do que às da NBR 15.220-3.

Como os α da NBR 15.220-3 são específicas de cada U e as da 15.575-4 são agrupadas por conjuntos em função de $U_{\text{máx}}$, observa-se a permissividade da 15.575-4 em relação à 15.220-3 sob outra ótica: α máx que U similares admitem. Têm-se assim dois cenários:

- a) $U = 3,60/ 3,70 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ (em marrom na TAB. 19) admitindo $\alpha \leq 0,28$ (NBR 15.220-3) e $\alpha \leq 0,60$ (NBR 15.575-4);
- b) $U = 2,50 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ (em vermelho na TAB. 19) admitindo $\alpha \leq 0,40$ (NBR 15.220-3) e $\alpha \leq 1,00$ (NBR 15.575-4);

Dessa forma, o espectro de cores admitido pelas duas normas é igual (de 0 a 100% - do branco ao preto). O que varia é o $U_{\text{máx}}$ admitido em função de cada cor/ α , sendo que a NBR

15.575-4 se revela muito mais permissiva em termos de α – permitindo cores mais escuras para Umáx equivalentes entre as normas.

4.2 Paredes utilizadas em obras residenciais de Vitória

4.2.1 Incorporadoras e unidades em produção

De acordo com o 31º Censo Imobiliário do SINDUSCON-ES (2017), foram levantadas 2228 unidades residenciais em produção em Vitória, distribuídas em 39 obras de 28 incorporadoras nos estágios de planta, fundação, estrutura, acabamento e concluída – que representaram o universo das obras que se tentou contato para entrevistar quanto ao tipo de parede utilizada (TAB. 20). A efetividade do contato com as obras, definindo a amostra de obras questionadas nesta pesquisa, é exposta na TAB. 20. Observa-se que o percentual de representatividade apresentado é ponderado em função do quantitativo das unidades residenciais de cada obra. A estrutura do questionário e o modelo de questionário preenchido utilizados estão nos Apêndices IV e V.

Tabela 20 – Representatividade das unidades residenciais recentes de Vitória e obtenção dos resultados dos questionários (continua)

Incorporadora ¹		Obra ¹		Unidades residenciais ¹		Representatividade (%)	
1	Galwan	1	Solar Mata da Praia	√	234	13,91%	10,50%
		2	Juan Fernandes	-	36		1,62%
		3	Paulo Pereira Gomes	-	40		1,80%
2	Loreng Empreendimentos	4	Facilità Camburi	-	157	11,09%	7,05%
		5	Loreng Unique Corporate	√√	90		4,04%
3	RDJ Residencial	6	José Daher Carneiro	X	75	7,72%	3,37%
		7	Modigliani	X	19		0,85%
		8	Nero Dávila	X	78		3,50%
4	DACAZA	9	Florença	-	64	7,54%	2,87%
		10	Mar Báltico	-	104		4,67%
5	INOCOOP-ES	11	Recanto de Camburi	√	162	7,27%	7,27%
6	Impacto Engenharia	12	Residencial Aquarela	√√	128	5,75%	5,75%
7	San Juan	13	Reserva Praia do Canto	X	106	4,76%	4,76%
8	Mazzini Gomes	14	JL 67	√	60	4,58%	2,69%
		15	Sequóia Residencial	√	42		1,89%
9	Viga Empreendimentos	16	Long Island	X	100	4,49%	4,49%
10	Metron Engenharia	17	San Pietro	√	80	3,59%	3,59%
11	PROENG	18	Antônio Gonçalves	√	42	3,50%	1,89%
		19	Address Praia do Canto	√	36		1,62%
12	Bozi	20	Vila Rica	√	14	3,14%	0,63%
		21	Vitória Garden	√	56		2,51%
13	Grasselli Engenharia	22	Alzira Grasselli	√	6	2,96	1,62%
		23	Davi Amarante	√	30		1,35%
14	UNIMOV	24	Vogue Enseada	√	64	2,87%	2,87%
15	Pacífico Construções	25	Up Jardim Studio	√	40	2,69%	1,80%
		26	Águas de Camburi	√	20		0,90%
16	Tercasa Engenharia	27	Solar das Orquídeas	√	48	2,15%	2,15%
17	M Santos	28	Vista da Fonte Residencial	√	40	1,80%	1,80%
18	EBS Engenharia	29	Residencial Monte Bianco	√	36	1,62%	1,62%
19	Conmar	30	Seaside	X	29	1,30%	1,30%
20	Casamorada Engenharia	31	San Paolo	-	24	1,08%	1,08%

Tabela 20 – Representatividade das unidades residenciais recentes de Vitória e obtenção dos resultados dos questionários (conclusão)

Incorporadora ¹		Obra ¹		Unidades residenciais ¹		Representatividade (%)	
21	Vila Real	32	Residencial Cecília Bello	√	23	23	1,03%
22	Ipê	33	Ipê Amarelo	X	20	20	0,90%
23	Morar	34	Mirador	√	20	20	0,90%
24	RS	35	Reserva Mata da Praia	-	19	19	0,85%
25	Barbosa Barros	36	Trancoso	√√	18	18	0,81%
26	Cadete e Gazzinelli	37	Domus Áurea	√√	15	15	0,67%
27	Tuma	38	Vila Esplendore	X	12	12	0,54%
28	Saiter	39	Ítalo Baldi	X	11	11	0,49%
					2228		100%

Legenda da obtenção dos resultados dos questionários/ entrevistas:

√ Obtido por telefone √√ Obtido por e-mail - Não obtido (mas enviado) X não obtido (não enviado)

Fonte: Michel, Nico-Rodrigues e Laranja, 2018, p. 1674-1675, adaptações da autora, com base nos dados do SINDUSCON, 2017.

Assim, conforme TAB. 20, a amostra foi delimitada por 23 obras, representando um percentual ponderado de 59,87% do total correspondendo a 1334 unidades residenciais. Desse percentual de questionários respondidos, 49,42% (19 obras) foram obtidos por telefone e apenas 10,46% (4 obras) por e-mail. Em relação às obras que não responderam aos questionários, 20,83% (7 obras) receberam o questionário por e-mail como solicitado por contato telefônico, porém não retornaram, mesmo tendo sido solicitados por contatos telefônicos e por e-mail posteriores; e 19,30% (9 obras) foram desconsideradas da amostra ao longo da pesquisa por impossibilidade de se estabelecer contato com algum responsável pela obra ou incorporadora em questão.

Em relação ao percentual ponderado de quase 20% dessas obras com as quais não se conseguiu efetividade no contato, associa-se a possíveis falências dessas incorporadoras no mercado devido ao período que o censo englobou. O ano mais antigo do censo não é especificado, mas como o censo é de janeiro de 2017 e considera lançamentos e obras concluídas de junho a dezembro de 2016, entende-se que os anos de crise econômica de 2014 a 2016 foram contemplados e que essas empresas podem ter falido em função desse contexto. Daí a impossibilidade de identificar e contatar tais incorporadoras.

De modo geral, pontua-se que o percentual ponderado de respostas obtido atende ao parâmetro estabelecido por ser maior que 50%, representando de fato maioria das unidades residenciais em produção em Vitória e consequentemente possibilitando obter a caracterização das paredes predominantemente utilizadas na capital capixaba. Além disso, detecta-se que a estratégia de priorizar a aplicação do questionário como entrevista por telefone, reduzindo uma etapa de contato na obtenção dos resultados, foi bastante eficaz, pois representou 82,55% do total de respostas obtidas, além de ter o retorno imediato, requerendo menos controle e tempo para retorno.

4.2.2 Identificação e caracterização das paredes

Na TAB. 21, são apresentadas as caracterizações das paredes utilizadas em Vitória, conforme as 23 obras (1334 unidades residenciais) do 31º Censo Imobiliário do SINDUSCON-ES (2017) que responderam ao questionário enviado ou à entrevista feita com base no questionário do Apêndice IV. Ao todo são treze itens de caracterização das paredes que servem como dados de entrada do programa de simulação térmica DesignBuilder com suas respectivas opções e representatividades percentuais ponderadas por posição de parede – periferia; entre unidades autônomas (entre U.A.); e interna. Observa-se que as porcentagens expostas são absolutas/ reais – isto é, a soma de cada posição de parede por item totaliza 59,87% (percentual de respostas obtido dos questionários), pois os percentuais estão em função do total das obras residenciais listadas no censo (obras que responderam e que não responderam ao questionário). A compilação de todas essas porcentagens por obra e por posição de parede são apresentadas no Apêndice D1.

Tabela 21 – Caracterização e representatividade das paredes de edifícios residenciais recentes de Vitória (continua)

Residência: Recentes do Vitoria					
Característica		Opções	Periferia	Entre U.A.	Interna
1	Tipo de parede	Bloco cerâmico 9 x 19 x 19 cm 6 furos	3,50%	3,50%	3,50%
		Bloco cerâmico 9 x 19 x 19 cm 8 furos	3,05%	3,05%	14,81%
		Bloco cerâmico 9 x 19 x 29 cm 6 furos			0,81%
		Bloco cerâmico 9 x 19 x 39 cm 6 furos	1,80%	1,80%	2,96%
		Bloco cerâmico 9 x 19 x 39 cm 8 furos	4,17%	3,14%	3,14%
		Bloco cerâmico 11,5 x 19 x 19 cm 6 furos	10,50%	10,50%	
		Bloco cerâmico 11,5 x 19 x 24 cm 6 furos	2,96%	2,96%	
		Bloco cerâmico 19 x 19 x 29 cm 9 furos	0,81%		
		Bloco de concreto 9 x 19 x 39 cm 2 furos	4,49%		
		Bloco de concreto 14 x 19 x 29 cm 2 furos		0,81%	
		Bloco de concreto 14 x 19 x 39 cm 2 furos	21,27%	18,85%	10,86%
		Bloco de concreto 19 x 19 x 39 cm 2 furos		0,90%	
		Placa cimentícia/ <i>drywall</i> (ep: 1,2 cm; et: 9 cm)		2,87%	4,67%
		Placa cimentícia/ <i>drywall</i> (ep: 1 cm; et: 9,5 cm)			3,19%
		Placa cimentícia/ <i>drywall</i> (ep: 1,25 cm; et: 9,5 cm)			13,15%
		Placa cimentícia/ <i>drywall</i> (ep: 1,25 cm; et: 10,5 cm)			0,90%
		Placa cimentícia/ <i>drywall</i> (ep: 1,25 cm; et: 11,5 cm)	5,75%		
		Placa cimentícia/ <i>drywall</i> (ep: 1,1 cm; et: 13 cm)		1,03%	
		Placa cimentícia/ <i>drywall</i> (ep: 1,25 cm; et: 14,6 cm)		5,75%	
		Placa cimentícia/ <i>drywall</i> (ep: 1,25 cm; et: 19,0 cm)		4,04%	
		ARXX VEDA - AV 40 - ICF (14 x 40 x 60 cm)	0,67%	0,67%	
2	Sentido de assentamento dos blocos	Vertical	52,42%	46,18%	36,09%
		Horizontal	1,03%		
		Não se aplica	6,42%	13,69%	23,79%
3	Espessura argamassa horizontal entre blocos	0,3 cm	4,58%	4,58%	
		0,5 cm	1,62%	1,62%	1,62%
		1,0 cm	39,27%	31,33%	28,28%
		1,5 cm	4,49%	4,49%	2,69%
		Não se aplica/ sem resposta	9,92%	17,86%	27,29%
4	Espessura argamassa vertical entre blocos	Junta seca	13,38%	19,84%	15,26%
		0,3 cm	2,96%	2,96%	2,96%
		1,0 cm	30,92%	16,52%	11,67%
		1,5 cm	2,69%	2,69%	2,69%
		Não se aplica/ sem resposta	9,92%	17,86%	27,29%
5	Parede dupla	Sim		7,94%	
	Não	59,87%	51,93%	59,87%	
6	Camada interna extra	Lã de rocha - entre placas	5,75%	13,69%	5,97%
		Não	54,13%	46,18%	53,90%
7	Espessura do reboco interno	0,50 cm	0,67%		
		0,75 cm	7,27%	7,27%	7,27%
		1,0 cm			3,59%
		1,5 cm	20,83%	20,69%	14,45%
		2,0 cm	16,65%	8,71%	5,66%
		2,5 cm	5,21%	5,21%	1,62%
		3,0 cm		0,81%	
		Não se aplica/ sem resposta	9,25%	17,19%	27,29%
8	Espessura do reboco externo	1,5 cm	0,67%		
		2,5 cm	1,62%		
		3,0 cm	35,05%		
		3,5 cm	10,14%		
		4,0 cm	3,14%		
		Não se aplica/ sem resposta	9,25%		

Tabela 21 – Caracterização e representatividade das paredes de edifícios residenciais recentes de Vitória (conclusão)

Característica			Opções	Periferia	Entre U.A.	Interna
9	Tipo de reboco		Tradicional (cimento, areia e água)	42,68%	35,41%	21,72%
			De gesso	7,94%	7,27%	10,86%
			Não se aplica/ sem resposta	9,25%	17,19%	27,29%
10	Material acab. predominante (superfície opaca)		Pintura	15,26%		
			Textura	34,65%		
			Pastilha	5,66%		
			Porcelanato	4,31%		
11	Tipo de acab. do revestimento		Brilho/ polido	6,46%		
			Fosco/ natural	2,69%		
			Não se aplica	50,72%		
12	Tipo de tinta		PVA fosca		24,37%	24,37%
			Acrílica fosca	37,34%	26,89%	26,89%
			Acrílica fosca emborrachada	0,81%		
			Acrílica acetinada		5,75%	5,75%
			Não se aplica/ sem definição	21,72%		2,87%
13	Cor		Branca	23,74%	59,87%	59,87%
			Bege	17,59%		
			Fendhi	1,62%		
			Marrom claro	0,63%		
			Verde claro	1,80%		
			Verde musgo claro	3,59%		
			Cinza claro	5,75%		
			Cinza médio	1,62%		
			Sem definição	2,87%		

Legenda:

- 1ª opção de maior representatividade por posição de parede - utilizada;
- 1ª opção de maior representatividade por posição de parede – desconsiderada;
- Opção de maior representatividade por posição de parede considerando a soma das porcentagens de “entre U.A.” e “interna”;
- 2ª opção de maior representatividade da periferia do item “tipo de parede”.

Fonte: Michel, Nico-Rodrigues e Laranja, 2018, p. 1676-1677, adaptações da autora.

O QUAD. 4 compila as paredes mais utilizadas apresentadas na TAB. 21 para cada posição de parede trabalhada: periferia; entre U.A; e interna. Para as paredes periféricas, representando as paredes externas (PE), foram selecionadas as duas opções com maiores representatividades (vermelho e laranja TAB. 21) e para as paredes entre unidades autônomas e internas, simplificadas como paredes internas (PI), foi selecionada a soma mais representativa dessas duas posições de parede (vermelho e rosa TAB. 21) conforme Michel, Nico-Rodrigues e Laranja (2019), metodologia desta pesquisa e limitações do programa utilizado. Observa-se que as opções em cinza da TAB. 21 foram desconsideradas ou por não representar a opção de maior soma entre U.A. e interna (no item “tipo de parede”) ou por ser uma opção não condizente com o tipo de parede (demais itens, nos quais a opção “não se aplica” não corresponde à parede com blocos”).

Quadro 4 – Seleção de paredes mais utilizadas em edificações residenciais recentes em Vitória conforme critérios desta pesquisa.

Característica	PE	PI
Tipo de parede	1) Bloco de concreto 14 x 19 x 39 cm, 2 furos 2) Bloco cerâmico 11,5 x 19 x 19 cm, 6 furos	Bloco de concreto 14 x 19 x 39 cm 2 furos
Sentido de assentamento dos blocos	Vertical	Vertical
Espessura argamassa horizontal entre blocos	1,0 cm	1,0 cm
Espessura argamassa vertical entre blocos	1,0 cm	Junta seca
Parede dupla	Não	Não
Camada interna extra	Não	Não
Espessura do reboco interno	1,5 cm	1,5 cm
Espessura do reboco externo	3,0 cm	
Tipo de reboco	Tradicional	Tradicional
Material de acab. predominante (superfície opaca)	Textura	
Tipo de acabamento do revestimento	Não se aplica	
Tipo de tinta	Acrílica fosca	Acrílica fosca
Cor	Branca	Branca

Fonte: Michel, Nico-Rodrigues e Laranja, 2018, p. 1677-1678, adaptações da autora.

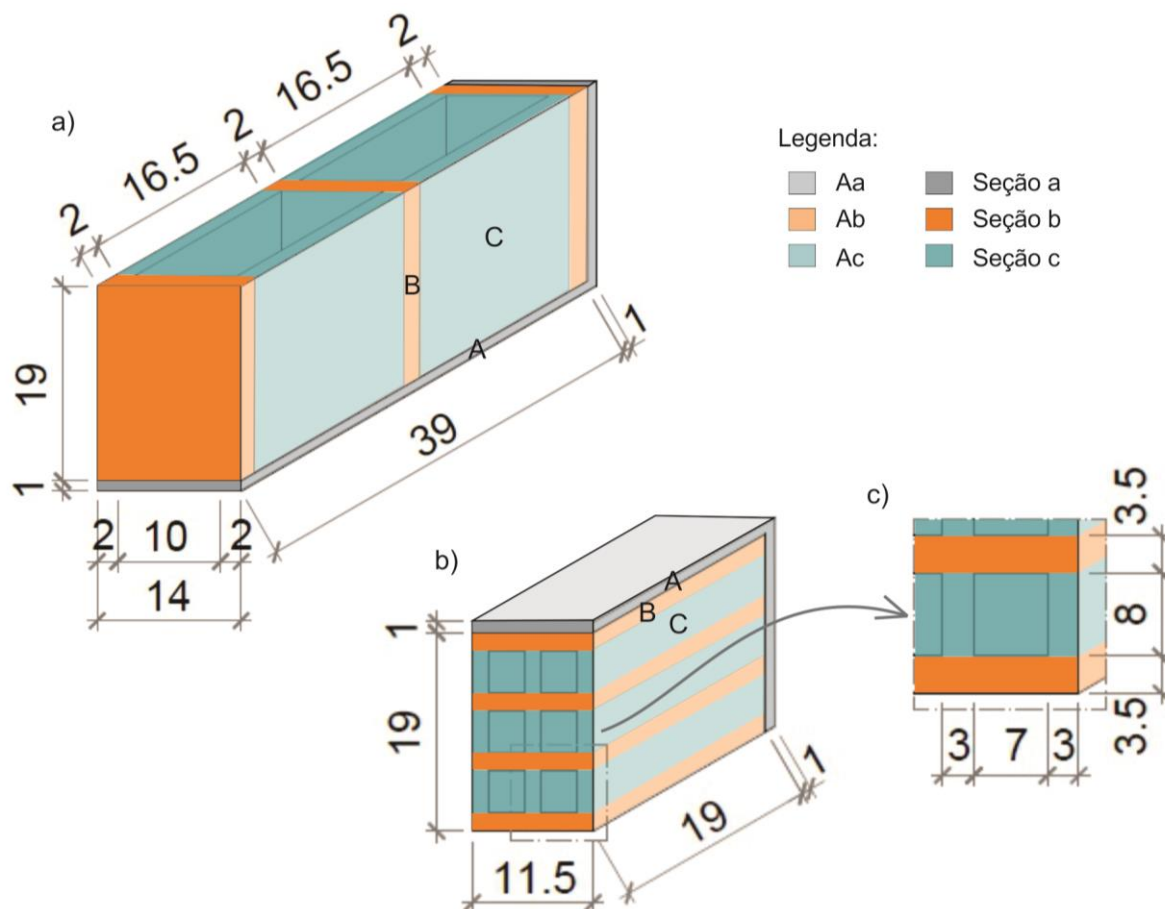
4.2.3 Transmitância térmica das paredes mais utilizadas x desempenho térmico

Conforme etapa anterior, têm-se três paredes pré-selecionadas, duas externas e uma interna:

1. PE1: bloco de concreto de 14 x 19 x 39 cm com 2 furos (FIG. 26a);
2. PE2: bloco cerâmico de 11,5 x 19 x 19 cm com 6 furos (FIG. 26b e c);
3. PI: bloco de concreto de 14 x 19 x 39 cm com 2 furos (FIG. 26a).

Estas foram verificadas em termos de desempenho com vistas a compreender se poderiam ser utilizadas como dado de entrada nas simulações. Como nenhuma delas está presente com suas especificações de bloco e de reboco no Catálogo do INMETRO (BRASIL, 2013), foi preciso calcular as transmitâncias dessas paredes, considerando os resultados previamente apresentados: reboco externo de 3 cm e interno de 1,5 cm (TAB. 22).

Figura 26 – Blocos das paredes mais utilizadas em Vitória: a) bloco de concreto; b) bloco cerâmico; e c) detalhe de cotagem do bloco cerâmico



Fonte: A autora, 2019.

Tabela 22 – Transmitância térmica das paredes previamente selecionadas

	PE1	PE2	PI
Aa (m²)	0,0059	0,0039	0,0059
Ra (m².K / W)	0,1609	0,1391	0,1478
Ab (m²)	0,0038	0,0024	0,0038
Rb (m².K / W)	0,1191	0,1669	0,1061
Ac (m²)	0,0314	0,0076	0,0314
Rc (m².K / W)	0,2320	0,4091	0,2189
Rt (m².K / W)	0,1987	0,2573	0,1844
Rse (m².K / W)	0,04	0,04	0,13 *
Rsi (m².K / W)	0,13	0,13	0,13
RT (m².K / W)	0,3687	0,4273	0,4444
U (W / m².K)	2,71	2,34	2,25

Nota: * Valor referente a Rsi.

Fonte: A autora, 2019.

Em relação aos valores obtidos, observa-se que, mesmo os tipos de parede de PE1 e PI sendo iguais, os Rt são diferentes por PE possuir duas espessuras diferentes de reboco (externo e interno) e PI espessuras iguais (reboco interno nas duas extremidades).

Acrescenta-se a essa diferença, as resistências superficiais que no caso de PI não possui R_{se} , sendo R_{si} dobrado (FROTA; SCHIFFER, 2003). As TAB. 23 e 24 trazem respectivamente as condutividades térmicas e as resistências do ar utilizadas para calcular as resistências dos materiais na TAB. 22.

Tabela 23 – Condutividades térmicas dos materiais utilizadas para calcular os U das paredes

MATERIAL	CONDUTIVIDADE TÉRMICA¹ λ $W/(m.K)$
Bloco de concreto	1,75
Bloco cerâmico	0,90
Argamassa ou reboco	1,15

Fonte: A autora, 2019, com base nos dados de: ¹ ABNT, 2003b, p. 9.

Tabela 24 – Resistências do ar utilizadas para calcular os U das paredes

MATERIAL	RESISTÊNCIA DO AR¹ $(m^2.K / W)$
Bloco de concreto (e ar = 10 cm)	0,17
Bloco cerâmico (e ar = 3,5 cm)	0,16

Fonte: A autora, 2019, com base nos dados de: ¹ ABNT, 2005b, p. 8.

De acordo com as transmitâncias térmicas das paredes encontradas e com os parâmetros da NBR 15.575-4 (ABNT, 2013d) previamente expostos, tem-se na TAB. 25 a verificação do desempenho térmico de PE1, PE2 e PI:

Tabela 25 – Verificação das paredes de Vitória pré-selecionadas dos questionários.

PAREDE	PE1	PE2	PI
U (W / m².K)	2,71	2,34	2,25
CONFORMIDADE COM NBR 15.575-4	√	√	√
α	≤ 0,60	Sem restrição	

Fonte: A autora, 2019.

Nota-se na TAB. 25 que as três paredes analisadas atendem aos parâmetros normativos, tendo assim desempenhos satisfatórios. A única ponderação é que a absorvância de PE1 deve se limitar a 0,60 por possuir transmitância superior a 2,50 W / m².K. Assim, as três paredes se mostraram aptas a servirem como dados de entrada nas simulações desta pesquisa.

4.3 Simulações

4.3.1 Seleção da amostra das paredes externas e interna e dados de entrada

Uma vez que PE1, PE2 e PI demonstraram ter transmitâncias térmicas conforme em relação aos parâmetros da NBR15.575-4 (ABNT, 2013d), essas paredes juntamente com as PE3,70 e PE2,50, representando as paredes com as transmitâncias máximas dos critérios 1 e 2 da NBR15.575-4 respectivamente, foram selecionadas como amostra para as simulações. A TAB. 26 expõe essa amostra e as transmitâncias térmicas calculadas nesta dissertação (U_c) respectivas a essas paredes. Além disso, essa tabela também mostra as transmitâncias térmicas calculadas pelo *DesignBuilder* (U_{db}).

Tabela 26 – U calculado nesta pesquisa conforme NBR 15.220-2 e U calculado pelo *DesignBuilder*

	U_c (W / m ² .K)	U_{db}^1 (W / m ² .K)
PE2	2,34	2,34
PE critério 2	2,50	2,50
PE1	2,71	2,71
PE critério 1	3,70	3,70
PI	2,23	2,78

Legenda: U_c – transmitância térmica calculada nesta dissertação

Fonte: A autora, 2019, com base nos dados de: ¹ OTEC, 2012, s/ p.

Com essas conferências dos U calculados em planilhas de Excel (Apêndice D2) segundo NBR 15.220-2 (ABNT, 2005b) considerando cada camada da parede com os U calculados pelo *DesignBuilder*, verificou-se que os valores foram correspondentes, exceto na parede interna. Analisando a memória de cálculos do programa, o que pôde ser percebido é que nesse caso o *DesignBuilder* considerou o valor de R_{se} de 0,04 m².K/W (correspondente à h_{se} de 25 W/m².K).

Assim, detectou-se que, mesmo a condutância superficial externa sendo fixada e inserida com o valor correto para parede interna (no caso, $h_{se} = 7,69$ W/m².K – correspondente à $R_{se} = 0,13$ m².K/W), o *DesignBuilder* está programado para calcular U de paredes internas como se fosse parede externa – isto é, considera $R_{se} = 0,04$ m².K/W e $R_{si} = 0,13$ m².K/W em vez de $R_{se} = 0,13$ m².K/W e $R_{si} = 0,13$ m².K/W. Esse erro também pôde ser constatado ao fazer testes mudando apenas as condutâncias superficiais fixadas e estabelecidas conforme a NBR 15.220-2 (ABNT, 2005b) na aba “*Surface properties*” e a “*surface resistance*” respectiva considerada no cálculo de U (aba “*Calculated*”) manteve-se a mesma. Dessa forma, como o *DesignBuilder* apresentou erro nos dados considerados no cálculo de U das paredes internas, foi habilitada a opção “*Set U-Value*” da aba “*Layers*” na configuração de paredes internas do programa para que fosse considerado o valor correto de U .

Salienta-se também que foi testada a inserção dos dados das paredes por propriedades (por camadas) em vez de ser por resistência térmica, porém o U resultante calculado pelo programa não coincidiu com os U calculados na pesquisa – nem nas paredes externas nem na interna. Logo essa opção de inserção de dados no programa por camadas não se mostrou uma boa opção, além de não ser a mais apropriada com os objetivos da pesquisa.

No entanto, ressalta-se nesse cenário que foi preciso fazer um ajuste adicional na entrada de dados das paredes (externas e interna), que interferiu minimamente nos resultados de U_c . Esse ajuste se relaciona com as mudanças de α das paredes. Observou-se com testes iniciais que, quando era simulado cenários com mesma parede mas com α diferentes para as paredes definidas apenas com uma camada por meio da inserção de seu valor R_t , os resultados se mantinham os mesmos. Como solução para essa limitação do programa, foram criadas duas camadas externas à camada relativa à parede. Essas novas camadas foram criadas com espessura desprezível (0,001m) para representar as camadas de pintura, visto que α se associa com a cor da parede. Desse jeito também pôde ser solucionado a questão das cores diferentes para as faces de uma mesma parede externa, observando que como camada única seria associada apenas uma cor para as duas faces (apenas um α por camada) e que a cor da face interna era fixada em branca (como a cor das paredes internas), porém as cores das faces externas variavam.

Todavia os dados de entrada dessas camadas extras de pintura tiveram que ser configurados por propriedades térmicas (em vez de ser por R_t), pois os testes iniciais revelaram que essas camadas, quando alimentadas por R_t , continuavam mantendo os mesmos resultados para cenários com mesma parede e α diferentes; e, quando alimentadas pelas propriedades térmicas, os resultados variavam e de forma coerente (piores resultados térmicos em relação ao calor para α maiores). O erro da inserção por propriedades térmicas detectado nos testes relacionado à camada da parede foi desconsiderado das camadas de pintura por terem espessuras desprezíveis, representando uma interferência mínima no U resultante do elemento construtivo como um todo e por ter sido a solução encontrada para os resultados não coerentes das camadas externas inseridas por R_t . Os dados considerados nessas camadas extras foram os expostos na TAB. 27. Os U_c e os U utilizados (resultante dos ajustes de U com as novas camadas de pintura), assim como a identificação das paredes consideradas na pesquisa e os R_t inseridos são expostos na TAB. 28.

Tabela 27 – Propriedades térmicas das camadas externas criadas (pintura)

	U utilizado (W / m².K)
e (m)	0,001
λ (W/(m.K))	0,50
c (kJ/(kg.K))	840
ρ (kg/m³)	1100
α (PI e face interna das PE)	0,10
α (face externa das PE)	Variável*
Rugosidade	Fina

Nota: * Ver próximo item dos Resultados.

Fonte: A autora, 2019.

Tabela 28 – Identificação e dados utilizados das paredes selecionadas para as simulações

	Uc (W / m².K)	U utilizado (W / m².K)	IDENTIFICAÇÃO PAREDE	Rt (m².K / W)
PE2	2,34	2,32	PE2 (2,32)	0,2573
PE critério 2	2,50	2,50	PE 2,50	0,2300
PE1	2,71	2,68	PE1 (2,68)	0,1987
PE critério 1	3,70	3,70	PE 3,70	0,1003
PI	2,23	2,23	PI *	0,1844

Nota: * Parede interna não-variável nas simulações.

Fonte: A autora, 2019.

Em relação aos demais dados de entrada, a densidade lumínica do ambiente encontrada foi de 2 W/ m² e o U e Rt dos elementos construtivos (exceto paredes) são expostos na TAB. 29 (memória de cálculo no Apêndice D2).

Tabela 29 – Dados de resistência e condutância térmica dos elementos construtivos gerais: cálculo pela NBR 15.220-2 x cálculo *DesignBuilder*

	Rt	Uc	Udb¹
Gesso	0,0086	2,87	2,81
Laje de piso interna	0,1357	2,10	2,47
Laje de piso externa	0,1586	3,35	2,33
Cobertura (telhado)	0,0632	3,66	4,92
Porta	0,1669	2,34	2,34

Fonte: A autora, 2019, com base nos dados de: ¹ OTEC, 2012, s/ p.

Analisando a TAB. 29, percebe-se que nas lajes de piso interna e externa, na cobertura e na porta externa também foram detectadas inconsistências nos resultados dos U calculados pelo DesignBuilder, considerando o U calculado nesta pesquisa conforme valores estabelecidos pela NBR 15.220-2 (ABNT, 2005). Nota-se que as diferenças são expressivas entre os resultados, principalmente na laje de piso externa e no telhado, cujas diferenças ultrapassam 1,00 W / m².K. Assim como nas PI, o erro de cálculo do U desses elementos construtivos no *DesignBuilder* está relacionado às resistências superficiais que o programa considera, que não corresponde às condutâncias superficiais fixadas na aba “*Surface properties*”.

Nas lajes, verificou-se que o *DesignBuilder* adota como padrão os seguintes valores: $R_{si} = 0,10 \text{ m}^2.\text{K/W}$ e $R_{se} = 0,17 \text{ m}^2.\text{K/W}$, sendo que esses valores de acordo com a NBR 15.220-2 (ABNT, 2005b) representam as resistências superficiais de elementos horizontais com fluxo de calor ascendente e descendente respectivamente sendo ambas internas. Entretanto, o R_{si} da laje interna deveria ser $0,17 \text{ m}^2.\text{K/W}$ por ter um fluxo de calor descendente (igual ao seu R_{se} por ser um elemento interno - FROTA; SCHIFFER, 2003); e o R_{se} da laje externa deveria ser igual a $0,04 \text{ m}^2.\text{K/W}$, uma vez que se trata de resistência superficial externa. Já no telhado, o *DesignBuilder* também considerou $R_{si} = 0,10 \text{ m}^2.\text{K/W}$ (fluxo ascendente), porém deveria ter considerado $0,17 \text{ m}^2.\text{K/W}$ (fluxo descendente).

Desse modo, além dos valores encontrados como dados de entrada da pesquisa, foram detectados alguns erros do *DesignBuilder*, revelando a importância de se verificar os valores considerados pelos *softwares*. Ademais, foram expostas as soluções adotadas diante desses entraves, expondo os valores dos dados de entrada ajustados e utilizados na pesquisa.

4.3.2 Absortâncias solares máximas (NBR 15.220) e intervalos de absortância

A TAB. 30 expõe as absortâncias solares máximas das paredes externas selecionadas neste estudo, que foram calculadas conforme as recomendações e critérios da NBR 15.220-3 (ABNT, 2005b), cuja memória de cálculo é apresentada no Apêndice D3. Em seguida, são apresentados na TAB. 31 os intervalos de absortância atualizados que foram utilizados nas simulações em função das absortâncias encontradas na TAB. 30.

Tabela 30 – Absortâncias máximas das paredes externas de acordo com a NBR 15.220-3

	FSo máx¹ (ZB8)	α máx (CALCULADO)	α máx (ADOTADO)
PE2 (2,32)		0,43	0,40
PE 2,50	4,00	0,40	0,40
PE1 (2,68)		0,37	0,40
PE 3,70		0,27	0,30

Fonte: A autora, 2019, com base nos dados de: ¹ ABNT, 2005b, p. 17.

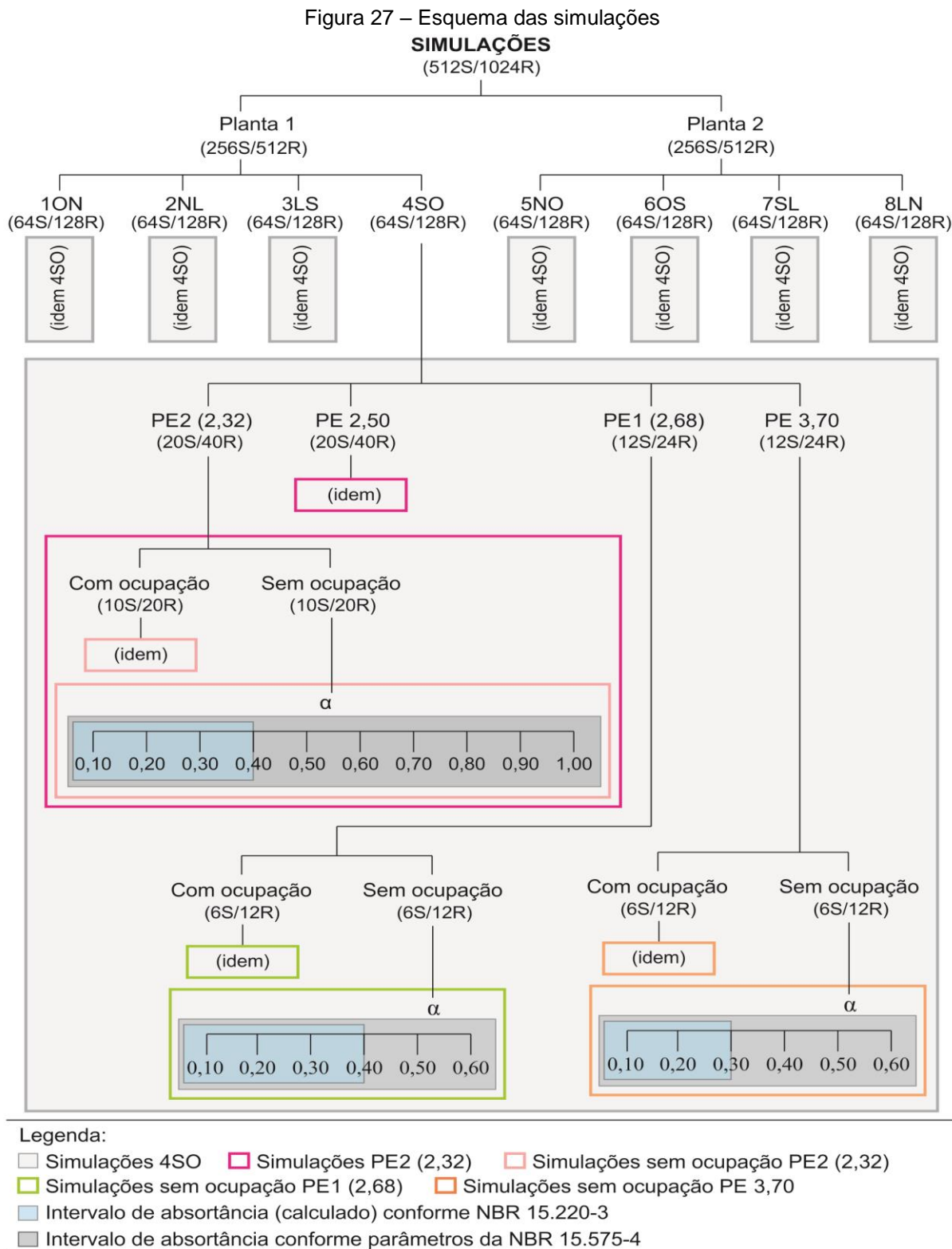
Tabela 31 – Intervalos de absortâncias utilizados nas simulações, com destaque para os valores adotados da NBR 15.220-3

	NBR 15.220-3	NBR 15.575-4
PE2 (2,32)	0,10 – 0,40	0,10 – 1,00 *
PE 2,50	0,10 – 0,40	0,10 – 1,00 *
PE1 (2,68)	0,10 – 0,40	0,10 – 0,60 *
PE 3,70	0,10 – 0,30	0,10 – 0,60 *

Fonte: A autora, 2019, com base nos dados de: ¹ ABNT, 2013d, p. 27.

4.3.3 Esquema das simulações e temperaturas operativas horárias trabalhadas

Na FIG. 27, é exposto o fluxograma das simulações atualizado em função da definição das transmitâncias térmicas e absorvâncias térmicas dos resultados anteriores.



Fonte: A autora, 2019.

Os cenários com ocupação foram trabalhados apenas com as T.O.h resultantes das simulações, enquanto que desses mesmos cenários porém sem ocupação foram obtidos os valores de três índices de conforto (QHDT, FDT e GhDT), sendo os três trabalhados para o desconforto por calor e por frio. Com isso, para as PE com $U \leq 2,50 \text{ W/m}^2\text{.K}$ de cada CO nas simulações sem ocupação geraram 10 simulações (cada uma com 8760 T.O.h) que geraram 30 QHDT, FDT e GhDT por calor e 30 QHDT, FDT e GhDT por frio; e as PE com $U > 2,50 \text{ W/m}^2\text{.K}$ de cada CO nas simulações sem ocupação geraram 6 simulações (cada uma com 8760 T.O.h) que geraram 18 QHDT, FDT e GhDT por calor e 18 QHDT, FDT e GhDT por frio.

Como exposto na FIG. 27, as combinações de transmitâncias e absorptâncias das paredes externas selecionadas propiciaram 64 cenários de simulação, totalizando 512 simulações e 1024 resultados, por cada simulação servir para duas análises de desconforto térmico (por frio e por calor). Com base nisso, mensurou-se a quantidade de temperaturas operativas horárias trabalhadas nesta dissertação por combinação de orientações e a quantidade total de T.O. horária (TAB. 32).

Tabela 32 – Quantidade de temperaturas operativas horárias trabalhadas nesta pesquisa

Tabela 52 – Quantidade de temperaturas operativas horarias trabalhadas nesta pesquisa			
	CENÁRIOS DE SIMULAÇÕES	QUANT. HORAS/ ANO	QUANT. T.O. HORÁRIA
1ON	64	8.760	560.640
2NL	64		560.640
3LS	64		560.640
4SO	64		560.640
5NO	64		560.640
6OS	64		560.640
7SL	64		560.640
8LN	64		560.640
Total:			4.485.120

Fonte: A autora, 2019.

Acrescenta-se que cada PE de cada CO apresenta os resultados com e sem ocupação de cada absorptância simulada. Nessas tabelas supracitadas com as T.O.h obtidas das simulações também são expostas as T.O.h mín e máx de conforto dos cenários sem ocupação de cada absorptância de cada PE de cada CO encontradas em função das T.O.h de conforto com ocupação (FIG. 34). Destaca-se que estas são variáveis por hora, pois a representatividade da ocupação em termos de temperatura operativa varia por hora, como pode ser visualizado no recorte da FIG. 34 (ampliação da FIG. 33).

Tabela 33 – Temperaturas operativas de conforto térmico para Vitória

MÊS	T.O. MÍN. DE CONFORTO¹ PARA VITÓRIA	T.O. MÁX. DE CONFORTO¹ PARA VITÓRIA
Janeiro	22,67	29,67
Fevereiro	23,27	30,27
Março	23,01	30,01
Abril	22,89	29,89
Maio	22,00	29,00
Junho	21,28	28,28
Julho	21,36	28,36
Agosto	21,58	28,58
Setembro	21,79	28,79
Outubro	21,80	28,80
Novembro	22,03	29,03
Dezembro	22,58	29,58

¹ Segundo ASHRAE 55 (2013) – 80% de aceitabilidade.

Fonte: A autora, 2019, com base nos dados de ASHRAE (2013).

ARQUIVO PÁGINA INICIAL INSERIR LAYOUT DA PÁGINA FÓRMULAS DADOS REVISÃO EXIBIÇÃO

Fonte: A autora, 2019.

TEMPERATURA OPERATIVA (°C)	
1	2
3	4
5	6
7	8
9	10
11	12
13	14
15	16
17	18
19	20
21	22
23	24
25	26
27	28
29	30
31	32
33	34
35	36
37	38
39	40
41	42
43	44
45	46
47	48
49	50
51	52
53	54
55	56
57	58
59	60
61	62
63	64
65	66
67	68
69	70
71	72
73	74
75	76
77	78
79	80
81	82
83	84
85	86
87	88
89	90
91	92
93	94
95	96
97	98
99	100

Fonte: A autora, 2019.

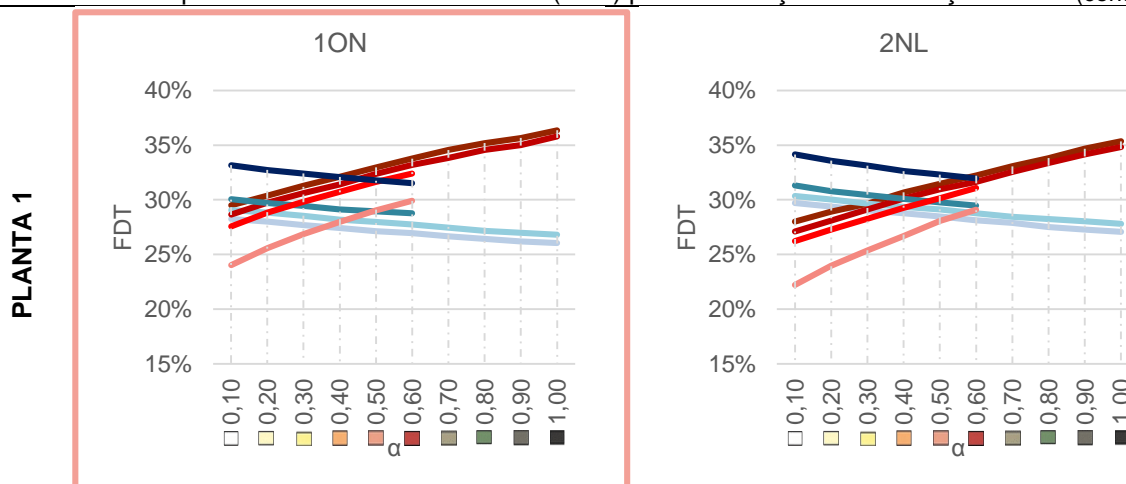
4.4 Análises: desempenho x conforto térmico

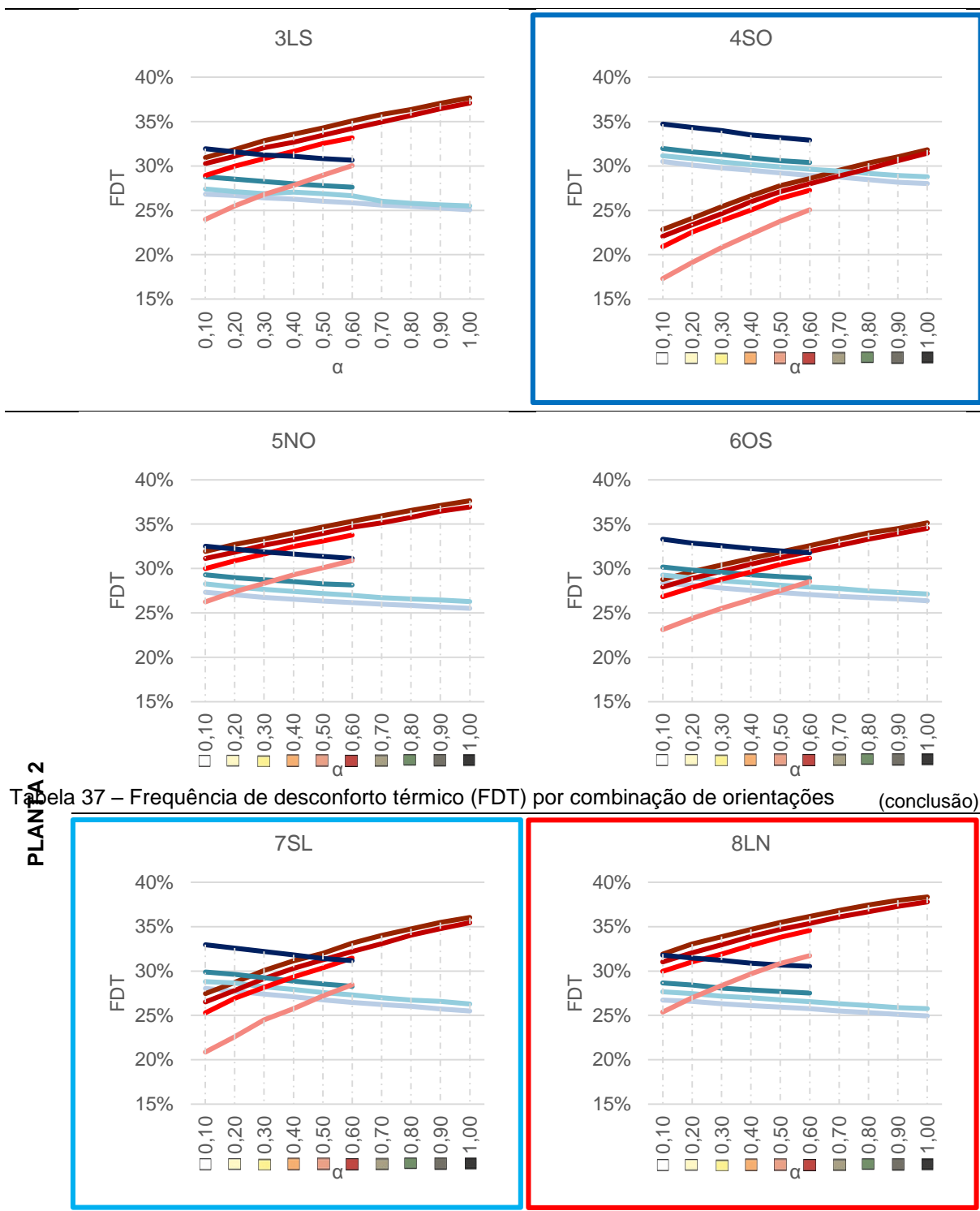
Neste item, são apresentadas análises correlacionando as propriedades térmicas de desempenho de paredes externas com índices de conforto térmico adaptativo, considerando o parâmetro de 80% de aceitabilidade por parte dos usuários (ASHRAE, 2013) em função de cenários simulados sem ocupação. No entanto, nos subitens “4.4.3 Ratificação dos resultados” e “4.4.5.1 Piores e melhores desconfortos térmicos por calor: simulação e NBR 15.575” são abordados os dados de saída das simulações com e sem ocupação. No item 4.4.3, não tem aplicação do parâmetro de conforto como forma de verificar a origem dos dados de saída para validar os resultados encontrados. Já no item 4.4.5.1, os T.O. mín e máx de conforto foram padronizados com ocupação para facilitar a análise, visto que os sem ocupação variam por hora e que existe uma proporcionalidade entre as curvas com e sem ocupação. Observa-se que as compilações de dados e memória de cálculo trabalhados neste item, encontram-se nos Apêndices D4 a D11 em ordem numérica das CO. Os dados de saída das simulações assim como os cálculos para obtenção de T.O.h sem ocupação e dos índices de conforto estão nas primeiras quatro abas; nas abas 5 a 7, têm-se as compilações dos índices de conforto para elaboração dos gráficos; e as CO 1ON, 4SO, 5NO e 7SL possuem abas extras com as compilações e gráficos dos dias solares mais representativos do ano (solstícios e equinócios).

4.4.1 Frequência de Desconforto Térmico (FDT)

Nessa análise inicial e simplificada da TAB. 34, são expostos os panoramas gerais dos FDT de cada combinação de absorvância com transmitância permitida nas normas de desempenho de cada PE por frio e por calor para cada combinação de orientações trabalhada, com destaque para os melhores e piores desempenhos de acordo com os resultados das simulações e da NBR 15.575-1 (ABNT, 2013a).

Tabela 34 – Frequência de desconforto térmico (FDT) por combinação de orientações (continua)





PLANTA 2

Tabela 37 – Frequência de desconforto térmico (FDT) por combinação de orientações (conclusão)

Legenda:

PE2 (2,32)	PE 2,50	PE1 (2,68)	PE 3,70
PE2 (2,32)	PE 2,50	PE1 (2,68)	PE 3,70
Melhor FDT simulação	Pior FDT simulação		
Melhor FDT NBR 15.575-1	Pior FDT NBR 15.575-1		

Fonte: A autora, 2019.

Os gráficos da TAB. 34 revelam que nenhum cenário simulado alcança os parâmetros de conforto térmico, uma vez que nenhuma combinação de transmitância (respectiva a cada PE) com absorptância/ cor de nenhuma combinação de orientações apresenta 0% de FDT para o calor e frio juntos (nem mesmo separados). Cabe destacar que os resultados demonstram que essa incompatibilidade entre desempenho e conforto térmico é considerável nesses cenários com as condicionantes utilizadas, pois os percentuais são todos superiores a 15% de forma isolada (somente para frio ou para o calor), subindo para mais de 50% quando se considera o desempenho da parede como um todo durante o ano (frio e calor).

Apesar de a incompatibilidade ser para todas as absorptâncias/ cores, verificam-se cenários mais ou menos incompatíveis em função dos níveis diferenciados de conforto. No que concerne às absorptâncias, ratifica-se que o conforto térmico associado ao calor piora à medida que a absorptância aumenta (cores ficam mais escuras) assim como o conforto associado ao frio melhora. Tal crescimento (calor) ou o decréscimo (frio) do desconforto, representado pelas linhas de cada PE dos gráficos da TAB.34, mostra-se praticamente constante, dando a impressão de um único segmento de reta de mesma inclinação, ressalvando-se algumas situações específicas nas absorptâncias maiores – como em 4SO, 7SL e 8LN para o calor.

Tendo como foco o desconforto térmico por calor, visto que a ZB8 é uma zona que abriga cidades predominantemente muito quentes (IBGE, 1978¹⁰) e que o frio é a ausência de calor, verificam-se a pior e melhor combinação de orientações das simulações por esse índice de conforto: 8LN e 4SO respectivamente (vermelho forte e azul escuro, TAB. 34). No entanto, pela NBR 15.575-1 (ABNT, 2013a), a pior e melhor combinação seriam: 1ON e 7SL respectivamente (vermelho suave e azul claro, TAB. 34). Assim, o resultado de 8LN (simulação) apresentar FDT mais alto que 1ON (norma) e 4SO (simulação) mais baixo que 7SL (norma).

Pontua-se que alguns resultados que demonstraram desempenho das combinações com orientação L pior do que com O bem como S pior do que com N suscitam questionamento sobre o porquê e a veracidade dos resultados e/ou a validade desse índice de conforto térmico (FDT). Em especial, destaca-se nessa situação 4SO, cujos FDT deram bem inferiores a todas as outras combinações, mesmo sendo uma de suas orientações O.

Outra situação intrigante nesse mesmo aspecto é que os FDT de frio deram semelhantes (e até mesmo superiores – com destaque para 4SO) aos de calor – todavia, com valores espelhados com o aumento das absorptâncias.

Além disso, verifica-se que quanto maior a transmitância térmica do PE, menor é o seu desconforto térmico por calor (DTc) e maior seu desconforto térmico por frio (DTf) - o que

¹⁰ Disponível em: <ftp://geofp.ibge.gov.br/informacoes_ambientais/climatologia/mapas/brasil/clima.pdf>. Acesso em: 03 fev. 2018.

contradiz a lógica das normas de desempenho para a ZB8. A exemplo disso, têm-se: as NBR 15.575-4 e 15.220-3 que limita o U por um valor máximo – e não mínimo; e a NBR 15.575-4 (ABNT, 2013d) que admite que PE com U menor (resistência térmica maior) possa ter um intervalo maior de α (evidenciado no parâmetro do critério 2 em relação ao critério 1 dessa norma).

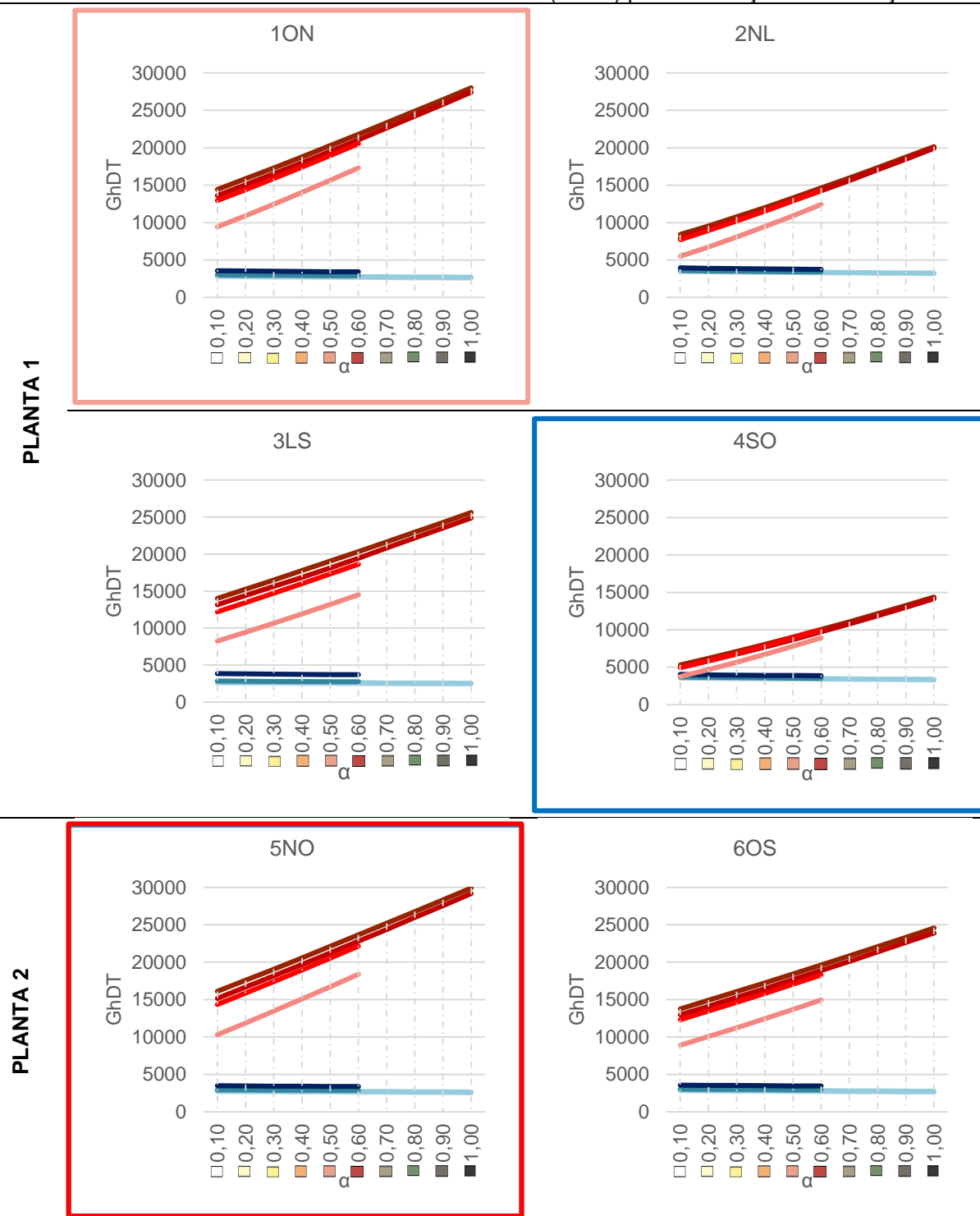
Dessa forma, nesta análise preliminar das simulações detectou-se que:

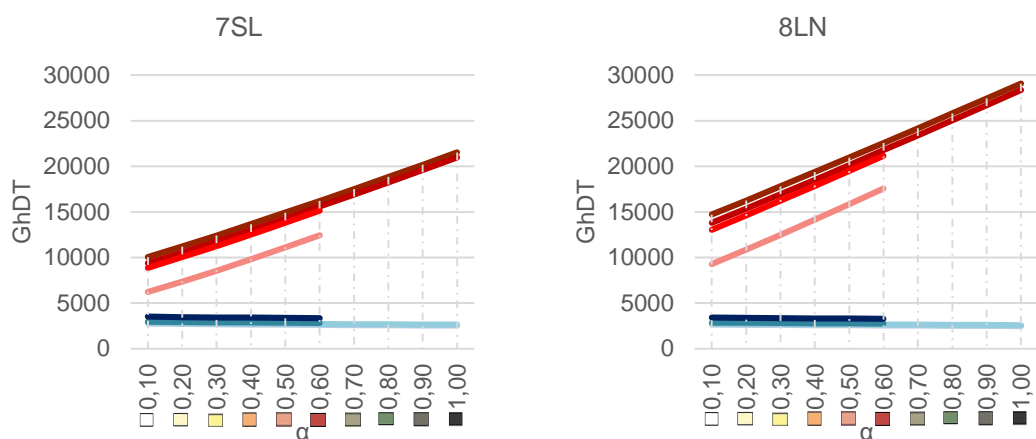
- Os PE com transmitâncias térmicas de 2,32 a 3,70 W/m².K, que inclui as transmitâncias máximas dos dois critérios da NBR 15.575-4 (ABNT, 2013d) e do critério da NBR 15.220-3 (ABNT, 2005c) para ZB8, com qualquer absorptância solar admitida não são capazes de prover conforto térmico considerando o ambiente naturalmente ventilado, segundo os referenciais utilizados. Assim não existe um intervalo de U e α cujo FDT seja igual a 0% em nenhuma combinação de orientações, não sendo possível propor uma revisão de parâmetros apenas atendendo aos limites dessas propriedades térmicas;
- A diferença do FDT de uma absorptância para a sua adjacente se mantém basicamente a mesma – existe uma constância no desconforto independente de sua absorptância com algumas poucas exceções nas absorptâncias maiores (cores mais escuras);
- O índice FDT e as combinações de orientações precisam ser melhor investigados a fim de se verificar os resultados das simulações com as recomendações das normas de desempenho (pior e melhor combinação de orientações; relação do desconforto térmico por frio em relação por calor; desempenho de L x O e N x S), visto os valores contraditórios com as condicionantes climáticas locais e às recomendações da NBR 15.575-1;
- PE com U maior provém menos DT_c e mais DT_f, assim como com U menor provém mais DT_f e menos DT_c, considerando o cenário analisado no microclima inserido, pertencente a ZB8.

4.4.2 Graus-horas de Desconforto Térmico (GhDT)

A TAB. 35 apresenta um panorama geral dos GhDT de cada combinação de absorptância com transmitância permitida nas normas de desempenho de cada PE por frio e por calor para cada combinação de orientações trabalhada, com destaque para os melhores e piores desempenhos de acordo com os resultados das simulações e da NBR 15.575-1 (ABNT, 2013a).

Tabela 35 – Graus-horas de Desconforto Térmico (GhDT) por combinação de orientações





Legenda:

PE2 (2,32)	PE2 (2,50)	PE1 (2,68)	PE3 (3,70)
Melhor GhDT simulação	Pior GhDT simulação	Melhor GhDT NBR 15.575-1	Pior GhDT NBR 15.575-1

Fonte: A autora, 2019.

Diferentemente dos gráficos de FDT (TAB.34), os de GhDT (TAB. 35) revelam coerência entre os resultados de desconforto térmico por frio e por calor, considerando as altas temperaturas da zona bioclimática do Vitória (ES) – ZB8. Pelo GhDT, percebe-se que o desconforto por calor é pelo menos equivalente ao desconforto por frio para a situação mais extrema de frio (PE 3,70, α 0,10 4SO), enquanto que no FDT o frio para esse mesmo cenário representa o dobro de desconforto em relação ao por calor. Já nas situações mais extremas de calor, que são diferentes entre os índices de conforto, a diferença de desconforto pelo GhDT é cerca de doze vezes maior do calor para o frio (PE2 2,32, α 1,00 5NO), sendo que pelo FDT essa diferença não chega ao dobro do calor para o frio (PE2 2,32, α 1,00 8LN).

Nos gráficos de GhDT (TAB. 35), então, a pior combinação de orientações deixa de ser 8LN e passa a ser 5NO, porém as aparentes inconsistências entre L x O e N x S permanecem. Isto é, na relação L x O, para combinações de orientações que mantenham N ou S e só troque L e O, somente a 5NO apresenta GhDT pior em termos de calor do que em 2NL (oeste apresentando desempenho pior). Em todas as outras “duplas”, L apresenta desempenho pior do que O, sendo que em 8LN x 1ON e 3LS x 6OS é um pouco pior e em 7SL x 4SO é muito pior. Por este, nota-se que o melhor DTc das simulações (4SO) continua muito abaixo do melhor DTc da NBR 15.575-1 (7SL). Para a relação N x S, os resultados são mais coerentes: em 1ON x 6OS e em 8LN x 3LS a combinação de orientação com N possui GhDT um pouco maior e em 5NO x 4SO é muito maior. Porém, em 1ON x 6OS, esta apresenta um GhDT um pouco maior.

Além disso, por esse índice de conforto mais condizente com a realidade, a relação do U dos PE analisados se mantém (quanto maior U, melhor DTc e pior DTf), porém se evidencia que é muito mais importante em termos de conforto ter um U maior, visto que o DTc é reduzido e que o DTf é muito baixo e com pouca variação de um PE para outro nessas situações.

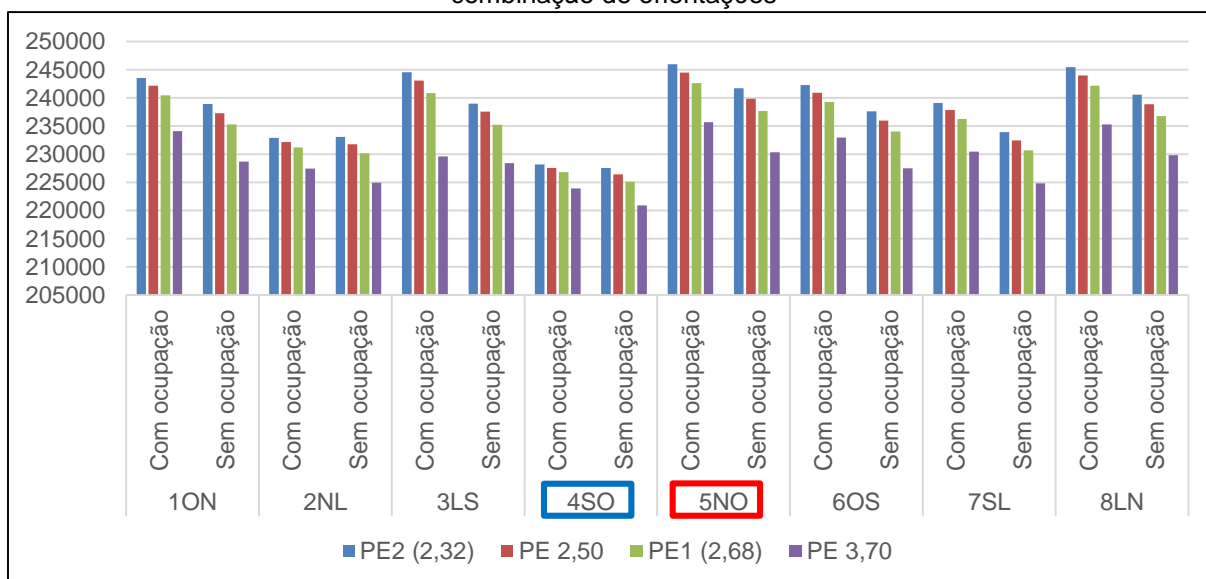
Assim, neste item de análise dos resultados das simulações pôde-se:

- Inferir que o índice GhDT é mais representativo da realidade climática do local de estudo e que o índice FDT deve ser usado com cuidado para não se chegar a interpretações equivocadas;
- Levantar que são necessárias outras análises para validar e entender os desconfortos térmicos de L pior que O e S pior que N em algumas combinações de orientações (principalmente da 4SO) e para ratificar quais são as melhores e piores combinações de orientações em termos de DTc;
- PE com U maior proporciona ao ambiente condições melhores de conforto total considerando o DTc e DTf.

4.4.3 Ratificação dos resultados

Para validação dos resultados encontrados, selecionou-se o $\alpha = 0,20$ como representativo de todas as absorptâncias visto que a diferença entre os desconfortos das absorptâncias de uma mesma PE se mantém basicamente constante. Assim, o GRÁF. 4 apresenta o somatório de todas as T.O.h dos cenários com $\alpha = 0,20$ das PE trabalhadas. Observa-se que as somas são dos dados de saída das simulações sem aplicação de índice de conforto dos cenários com e sem ocupação de todas as CO.

Gráfico 4 – Total de temperaturas operativas horárias no ano em função da ocupação e por combinação de orientações



Fonte: A autora, 2019.

Com os dados de saída originais apresentados no GRÁF. 4, cujos dados não estão alterados por nenhum tipo de filtro (como dos índices de conforto), percebe-se que de fato a combinação de 4SO possui temperaturas operativas bem abaixo das demais e que 5NO apresenta as maiores temperaturas operativas resultantes acumuladas ao longo do ano, sendo que 8LN possui valores bem próximos a 5NO. Ratifica-se assim os resultados de 4SO como a combinação de orientações capaz de prover o melhor desconforto por calor entre os cenários analisados ao passo que seus valores são consideravelmente inferiores às demais combinações de orientações. Por outro lado e como GhDT demonstrou ser um índice mais apropriado de ser considerado do que o FDT, a combinação 5NO se confirmou como a de pior DTc.

Diante disso, descartam-se as possibilidades de 4SO ter apresentado DTc muito inferiores em função de alguma situação específica nos filtros de índice de conforto (T.O. de referência) nessa combinação de orientação. Além disso, descartam-se possíveis interferências da ocupação peculiar a essa combinação de orientação, o que interferiria na obtenção das temperaturas operativas horárias de referência do cenário sem ocupação conforme subtração do método para sua obtenção, uma vez que os comportamentos gráficos dos cenários com e sem ocupação de uma combinação de orientação para outra no GRÁF. 4 são similares.

No GRÁF. 4, também se confirma que algumas combinações de orientações com L são piores do que com O (como ser visto na relação de 8LN com 1ON) bem como S apresenta resultados piores do que N na dicotomia 7SL e 2NL, na qual este possui resultados melhores.

Desse modo, ratifica-se a procedência dos resultados das simulações analisados neste trabalho e verifica-se a necessidade de se explorar melhor o motivo de resultados piores para L do que para as combinações de orientações com O, assim como na relação S com N.

4.4.4 Classificação das combinações de orientações por desconforto térmico

Com a ratificação dos resultados das simulações e a detecção de melhor apropriação dos resultados de GhDT, classificam-se na TAB. 36 as combinações de orientações por ordem decrescente de DTc – isto é, da combinação com maior GhDT para a com menor GhDT por calor, visto que esse índice de DTc se mostrou o mais apropriado e condizente com a realidade. Ademais, destacam-se na TAB. 36 a pior e melhor combinação de orientações segundo parâmetros da NBR 15.575-1 (ABNT, 2013a).

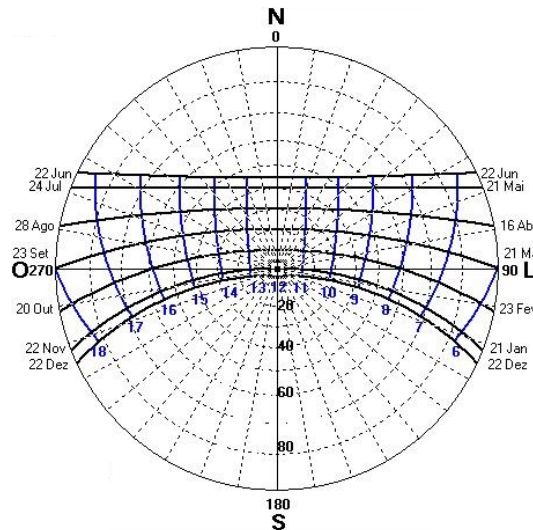
Tabela 36 – Classificação das combinações de orientações por ordem decrescente de GhDT por calor

Classificação	Combinação de orientações
1	5NO
2	8LN
3	1ON
4	3LS
5	6OS
6	7SL
7	2NL
8	4SO

Fonte: A autora, 2019.

De acordo com a classificação das combinações de orientações exposta na TAB. 36, percebe-se que há uma predominância da fachada N nas piores combinações conforme o esperado, visto que a trajetória solar de Vitória é predominantemente para o Norte ao longo do ano (FIG. 30). Nessa situação, têm-se as duas combinações em que o N representa a parede cega do cômodo analisado (8LN e 1ON) e a opção em que o N abriga a janela com a parede cega para O (5NO). No entanto, a quarta opção com N (2NL) representa a segunda melhor combinação de orientações.

Figura 30 – Carta Solar de Vitória



Fonte: LabEEE, [20--?], s/ p, [adaptações da autora].

Em contraponto, não se visualiza na TAB. 36 uma padronização na classificação das combinações de orientações com L e O, sendo que estas se apresentam mescladas tanto entre as melhores quanto entre as piores combinações. Algo que se destaca é que O faz parte da combinação de maior e de pior DTc e que logo em seguida se têm opções com L. Assim, diferentemente do esperado, O não está sempre associado às piores combinações em função de sua carga térmica mais intensa de sol da tarde; bem como L não se associa como regra às combinações de DTc mais amenos (GhDT menor). Outro item a ser pontuado em relação

à TAB. 36 é que a pior e a melhor combinação de orientações da NBR 15.575-1 representam a terceira opção na classificação dos resultados das simulações – de cima para baixo e de baixo para cima respectivamente.

Assim, neste item pôde-se classificar as combinações de orientações do pior para melhor DTc, ratificando que existem algumas aparentes inconsistências entre a posição de combinação com L em relação a O e de N com S – algo investigado nos próximos resultados, assim como a razão de a melhor e pior combinações da NBR 15.575-1 não corresponderem ao melhor e pior resultados das simulações.

4.4.5 Compreensão dos resultados

4.4.5.1 Piores e melhores desconfortos térmicos por calor: simulação e NBR 15.575

Para entender as diferenças entre os piores e melhores DTc dos resultados das simulações e da NBR 15.575-1, têm-se os gráficos do solstício de inverno, do equinócio de primavera¹¹ e do solstício de verão de 5NO e 1ON da TAB. 37 e 38 respectivamente, representando o comportamento térmico ambiental dessas combinações de orientações por meio da exposição das temperaturas operativas horárias ao longo desses dias representativos da trajetória solar.

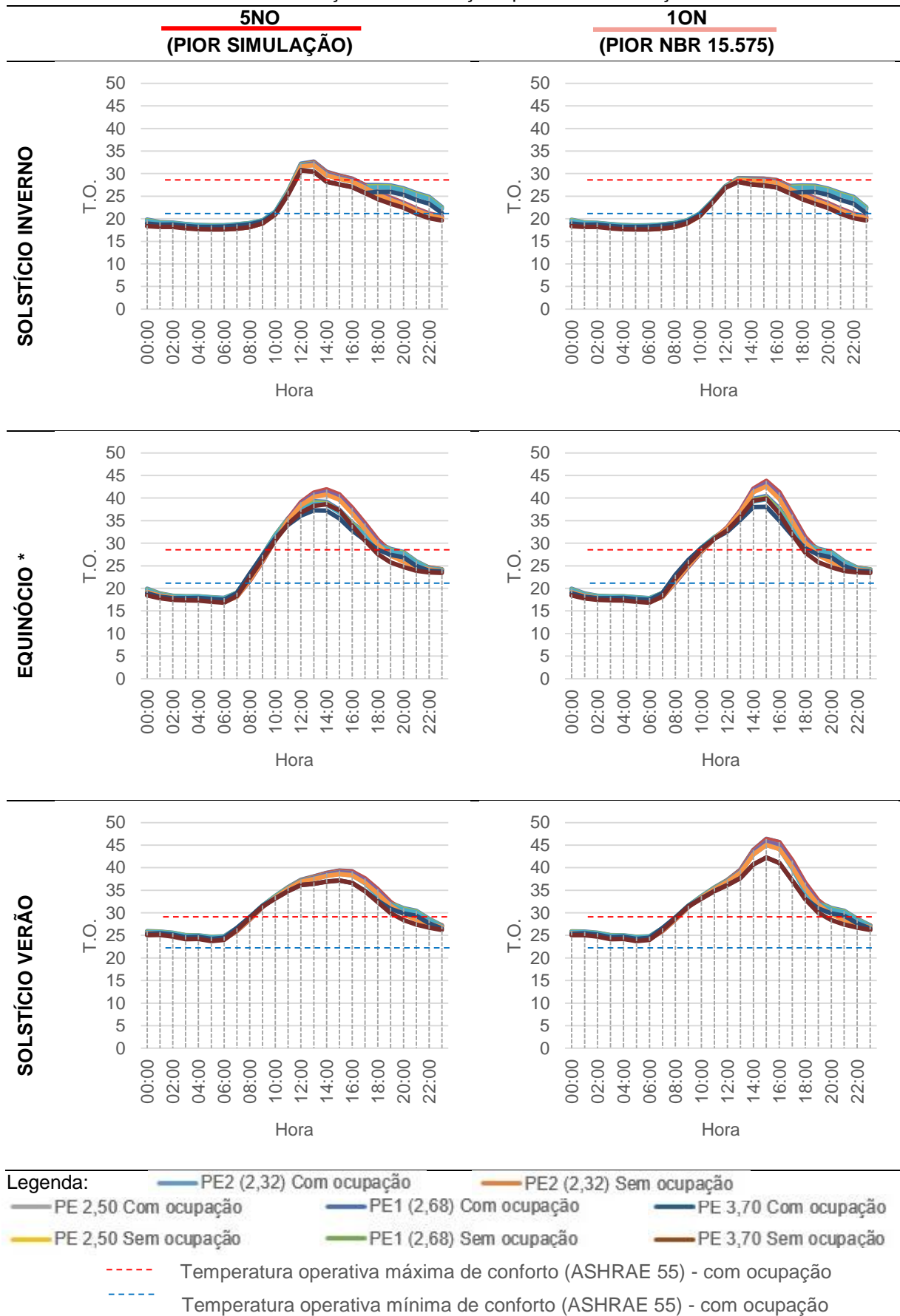
Os dados analisados são dos cenários simulados com todas as PE com $\alpha = 0,20$ com e sem ocupação com as temperatura operativa mínima e máxima de conforto das situações com ocupação por ser padrão para todas as horas dos dias e por já ter se verificado que as diferenças entre os cenários com e sem uso tendem a se manter com comportamento muito similar ao apresentado nos resultados de GhDT. Todos T.O. acima das linhas tracejadas de vermelho¹² nos gráficos das TAB. 37 e 38 representam situações de DTc; e os abaixo da linha tracejada de azul¹³, de DTf.

¹¹ Representando os equinócios, pois os gráficos do equinócio de outono (Apêndice VI) possuem comportamentos similares ao da primavera, porém esta com valores mais altos em função da temperatura externa e das demais variáveis climáticas desse mês/ estação.

¹² T.O. máximo da ASHRAE 55 (2013) com 80% de aceitabilidade por parte dos usuários.

¹³ T.O. mínimo da ASHRAE 55 (2013) com 80% de aceitabilidade por parte dos usuários.

Tabela 37 – Piores combinações de orientações para DTc: simulação e NBR 15.575



Fonte: A autora, 2019.

Nota: * Equinócio de Primavera representando os equinócios em termos de comportamento gráfico.

Analisando os gráficos das piores combinações de orientações para DTc da TAB. 37, percebe-se que o desconforto por frio é detectado por alguns intervalos abaixo do permitido pelo limite mínimo da ASHRAE (2013) de 80% de aceitabilidade por parte dos usuários. Porém, os desconfortos térmicos são semelhantes entre 5NO e 1ON para as três datas solares, destoando do desconforto por calor que é bem diferente entre essas combinações de orientações para cada dia apresentado nessa tabela. Isso ocorre porque a janela de uma combinação está na fachada N (5NO), recebendo incidência solar direta em maior parte do ano (excetuando simplificada o verão), e a janela da outra combinação está na fachada O, concentrando picos de T.O. nos horários da tarde.

Analisando o solstício de inverno, verifica-se que 5NO alcança T.O. maior do que em 1ON, ultrapassando o limite máximo de T.O. da ASHRAE (2013) – o que basicamente não acontece em 1ON. Assim somente 5NO apresenta DTc no inverno, contribuindo para a intensidade (graus-horas) e frequência de desconforto anual maior do que em 1ON.

Observa-se também que as curvas dos T.O. no solstício de inverno apresentam comportamentos diferenciados em relação ao esperado de acordo com a orientação da fachada que abriga a janela, o que se associa com o impacto na absorção solar em função da baixa altura dos raios solares nessa estação. Na combinação 5NO, por exemplo, percebe-se um pico justamente nos horários de 12 e 13h, horários nos quais o sol estará ortogonal à fachada da janela, facilitando a entrada dos raios solares de forma mais profunda no ambiente. Como essa radiação é pouco intensa por ser inverno e não é tão direta nos demais horários, essa temperatura interna tem uma queda após esses horários de incidência solar ortogonal (12 e 13h), gerando um pico atípico para o esperado para fachada N. Nos horários seguintes, o calor é relativamente mantido em função desses raios solares que já penetraram no ambiente e pelo fato de a outra fachada do ambiente ser O, concentrando-se também por isso no período da tarde. Já para 1ON, o seu comportamento pode ser identificado como similar ao de 5NO, porém sem o pico dos horários do meio do dia, visto que a fachada O não faz com a trajetória solar do inverno um ângulo ortogonal.

Além disso, uma peculiaridade que se percebe nas curvas de T.O. no solstício de inverno é que por um intervalo de horas do fim do dia (17 às 23h) os T.O. dos cenários com ocupação passam a ter comportamentos diferentes dos cenários sem ocupação, apresentando T.O. maiores. Isso provoca uma maior redução dos T.O. máximo e mínimo sem ocupação calculados em função dos T.O. com ocupação, já que a diferença entre os cenários de mesmo PE deixou de ser similar. Porém, como essa situação é específica de um curto intervalo de tempo de apenas uma estação e como esses valores se encontram dentro da zona de temperatura permitida, descartou-se a possível interferência que esses resultados poderiam

provocar em termos de proporcionar interpretações equivocadas sobre as combinações de orientações em relação a DT.

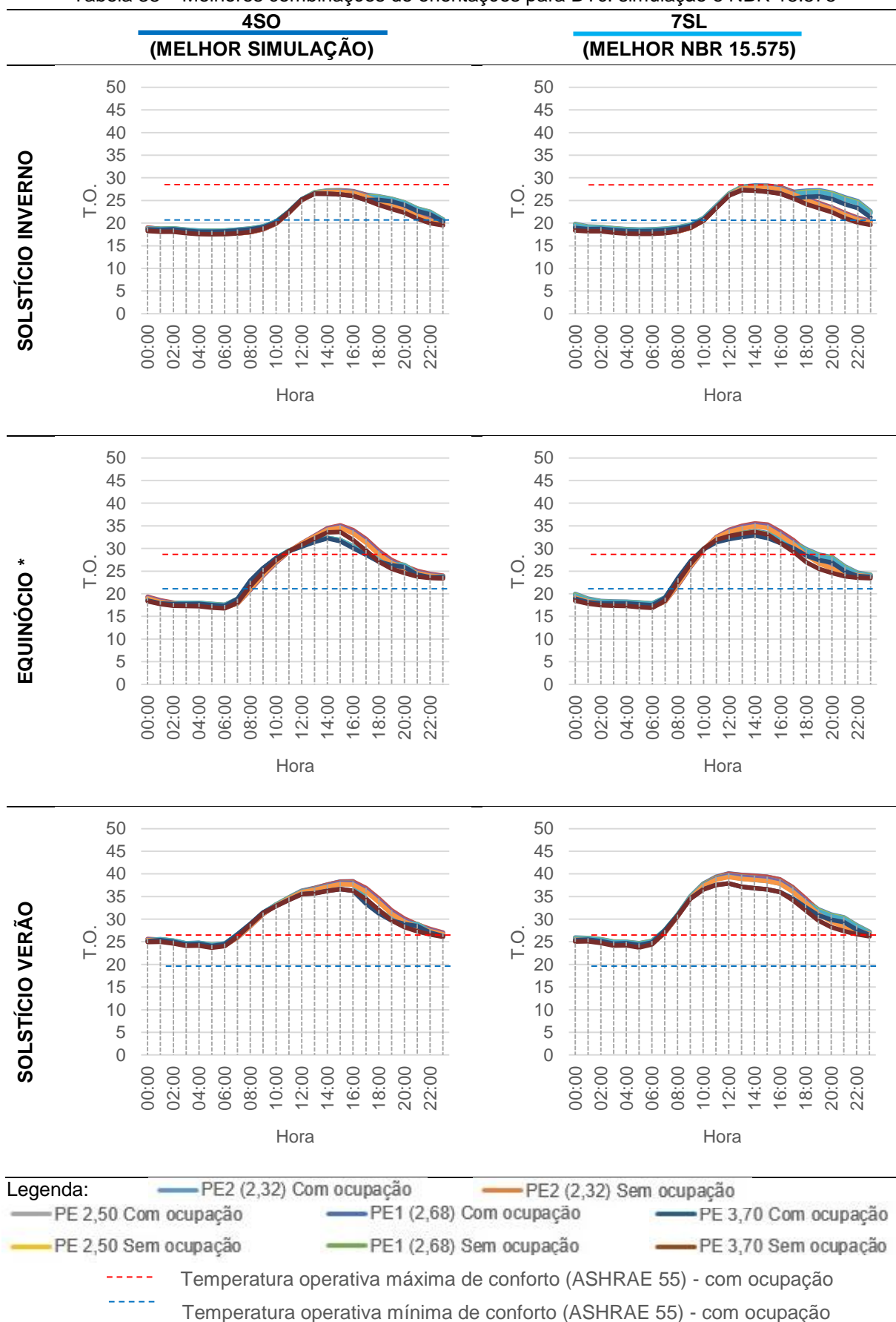
No equinócio de primavera, representando os equinócios, nota-se que 1ON atinge T.O. mais elevado do que em 5NO acima do limite máximo permitido. As frequências do DTc entre as duas são similares (de 10 às 18h), porém o que se verifica é que a **intensidade da frequência** (Intensidade de Desconforto Térmico - IDT) acima do T.O. máximo (GhDT total do dia) de modo geral é maior em 5NO do que em 1ON: 5NO possui por mais tempo T.O. maiores que 1ON que são acima do T.O. máximo permitido. Essa situação pode ser ratificada respectivamente nas oitavas aba dos Apêndices D8 e D4, nas quais o GhDT por calor de 5NO do dia 23 de setembro se somado totaliza 52,87 graus-horas, contra 46,59 graus-horas de 1ON; e no mês de setembro 5NO obtém 1069,25 graus-horas, contra 866,90 graus-horas de 1ON para PE2 (2,32) $\alpha = 0,20$ – PE com maiores valores de GhDT entre a amostra selecionada neste trabalho com a absorvância selecionada para essa análise de dados solares.

Assim, mesmo 1ON atingindo maior intensidade de desconforto absoluta (GhDT pontual/horário) e as duas combinações de orientações tendo frequências de desconforto (FDT) semelhantes, 5NO apresenta situação de desconforto mais crítica em relação ao calor por ter o IDT maior que 1ON – como pode ser vista em toda a área gráfica dessas combinações que estão acima do limite máximo permitido de T.O. (TAB. 40).

Já no solstício de verão, 1ON demonstra ter desempenho pior tanto por alcançar uma intensidade de T.O. acima do permitido maior que em 5NO quanto por manter uma intensidade maior por mais tempo, ainda que para frequências análogas.

Diante do exposto, verifica-se que 1ON (pior combinação de orientações pela NBR 15.575-1) proporciona DTc pior que em 5NO (pior pelas simulações) apenas no verão, alcançando também pior intensidade absoluta nos equinócios. Contudo, detectou-se que o que impacta no desconforto total é a área do gráfico fora do intervalo admitido (IDT). Com isso, 5NO se estabelece como pior combinação de orientações por apresentar maior IDT acima do T.O. máximo permitido por mais tempo durante o ano (do outono à primavera), considerando também o DTf semelhantes entre as combinações de orientações. Além disso, o IDT de um intervalo de tempo é validado como o índice de desconforto mais apropriado para mensurar o desconforto, em detrimento do uso isolado de FDT e QHDT, ainda que estes tenham suas importâncias em termos de quantificação da frequência e das horas em desconforto.

Tabela 38 – Melhores combinações de orientações para DTc: simulação e NBR 15.575



Fonte: A autora, 2019.

Nota: * Equinócio de Primavera representando os equinócios em termos de comportamento gráfico.

Nos gráficos das melhores combinações de orientações para DTc da TAB. 38, nota-se que o desconforto por frio também é bem parecido entre as combinações de orientações analisadas, (4SO e 7SL, sendo levemente pior naquela) e o DTf também só existe no solstício de inverno e nos equinócios, mesmo esses cenários possuindo os piores DTf. As curvas dos T.O. e os cenários de desconforto por calor apresentam comportamentos mais parecidos entre as combinações e entre as datas solares do que nos cenários das piores combinações de orientações por DTc (TAB. 37), nos quais os padrões eram bem diferenciados. Assim acontece nos cenários dos melhores DTc por ambas as combinações de orientações trabalhadas terem suas janelas voltadas para a mesma fachada (S), tendo pequenas variações em função de suas paredes cegas: O e L.

No solstício de inverno, não há desconforto por calor, visto que todos T.O. estão entre os T.O. mínimo e máximo da ASHRAE 55 (2013). Além disso, nesse dia solar acontece uma diferenciação das curvas dos PE com ocupação em 4SO e 7SL como na TAB. 37. Porém nos gráficos da TAB. 38 isso não se restringe ao solstício de inverno, acontecendo também no equinócio e solstício de verão de 7SL, sendo que a diferença do aumento do cenário com ocupação para sem ocupação no solstício de inverno é muito mais amena em 4SO. Essas discrepâncias entre as curvas com ocupação para as sem ocupação basicamente acontecem dentro do intervalo de conforto, com exceção do solstício de verão de 7SL, não tendo pois relevância para as análises deste estudo.

Observa-se que os comportamentos das curvas de T.O. de 4SO e 7SL são bastante similares em termos de DTc e DTf, sendo apenas mais intensa em 7SL. Essa relativa semelhança pode ser entendida por o sol de inverno ter menor altura solar e por sua trajetória ser voltada para a orientação (N) oposta à fachada da janela (S). O fato de as temperaturas serem mais altas para a combinação que tem a parede cega para L em vez de ser para a que se orienta para O é compreendido por 7SL receber primeiro a carga térmica do sol logo no início da manhã e por essa carga se somar à incidente de forma indireta na S ao longo de todo o dia, considerando o atraso térmico das paredes externas analisadas (TAB. 38). Dessa forma, compreende-se que ter uma fachada que se expõe primeiro à incidência solar tem mais impacto nas temperaturas internas do que se o sol é da manhã ou da tarde para combinações de orientações cujas janelas estejam para S no solstício de inverno, considerando a incidência solar indireta na fachada em comum com janela (S), o atraso térmico das paredes externas analisadas e a suavidade do sol de inverno.

Associando esses gráficos do solstício de inverno de 4SO e 7SL (TAB. 38) com os de 5NO e 1ON (TAB. 37), percebe-se que todas as curvas apresentam semelhanças (7SL e 1ON chegam a ser equivalentes) mesmo apresentando combinações de orientações totalmente distintas, excetuando-se apenas os horários de 12 e 13h de 5NO (horário que o sol de inverno

é ortogonal à fachada que abriga a janela). Assim, percebe-se que as combinações de orientações possuem desempenhos muito parecidos no solstício de inverno desde as piores até as melhores combinações em termos de desconforto térmico. O fato de a janela estar para a orientação da trajetória solar ou não (sol direto ou indireto) não gera muita diferença devido ao atraso térmico que retarda a chegada do calor dentro do ambiente. O que faz diferença é se a incidência solar acontece antes ou depois ao logo do dia, mas principalmente se a incidência é ortogonal à fachada (nesse caso, necessariamente com incidência solar direta – trajetória coincidente com a fachada da janela). Verifica-se também que o DTf é comum nas horas iniciais do dia e que é preciso se atentar ao DTc aos horários do meio do dia para as combinações que possuam N como orientação da janela.

Os gráficos do equinócio e do solstício de verão de 4SO e 7SL (TAB. 38) possuem curvas parecidas, com as de 4SO inclinadas mais para os horários vespertinos, porém sua área acima da linha limite máxima de conforto (IDT) é bem menor do que a de 7SL no equinócio por manter o GhDT mais alto comum às duas combinações por mais tempo dentro de uma mesma frequência de desconforto e no solstício de verão por alcançar GhDT maiores por intervalos de tempo de desconforto iguais. Sendo assim, os FTD são semelhantes nas duas datas entre as duas combinações de orientações; a intensidade máxima de 4SO é similar à de 7SL nos equinócios, porém é menor no solstício de verão; e o IDT é menor em 4SO para as duas datas solares.

O que distingue 4SO e 7SL em termos de combinação de orientação é a orientação da parede cega (na primeira O; e na segunda, L), pois ambas possuem a janela voltada para S. Assim, o que justifica 4SO ter melhor DTc em relação à 7SL para todas as épocas do ano é a ordem durante o dia de exposição da fachada cega à radiação solar direta. A fachada L recebe a incidência solar direta primeiro o que se soma com a incidência recebida na fachada sul (direta ou indireta) ao longo do dia, além da carga térmica da radiação indireta em L no período da tarde. Até mesmo quando a fachada L não recebe mais sol diretamente (após às 12h), ela tem a contribuição da carga solar que recebeu antes do meio-dia.

Assim 7SL tem a carga solar pela manhã direta de L e de S e durante a tarde tem a carga solar que incidiu na L antes de meio-dia mais a carga da S durante todo o dia. Já em 4SO, essa duplicidade de carga no horário de não-recebimento de radiação solar direta na parede cega não acontece. No período da manhã, a fachada O ainda não recebeu a radiação solar diretamente, tendo apenas a contribuição da fachada S e a indireta em O. À tarde tem-se a contribuição da radiação solar incidente nas duas fachadas (O diretamente e S direta ou indiretamente dependendo da época do ano), mas com um acréscimo pré-existente pouco representativo do calor da parede cega, uma vez que a fachada O só recebe sol diretamente

após às 12h e o sol indireto que recebe não é suficiente para elevar a temperatura a ponto de causar desconforto.

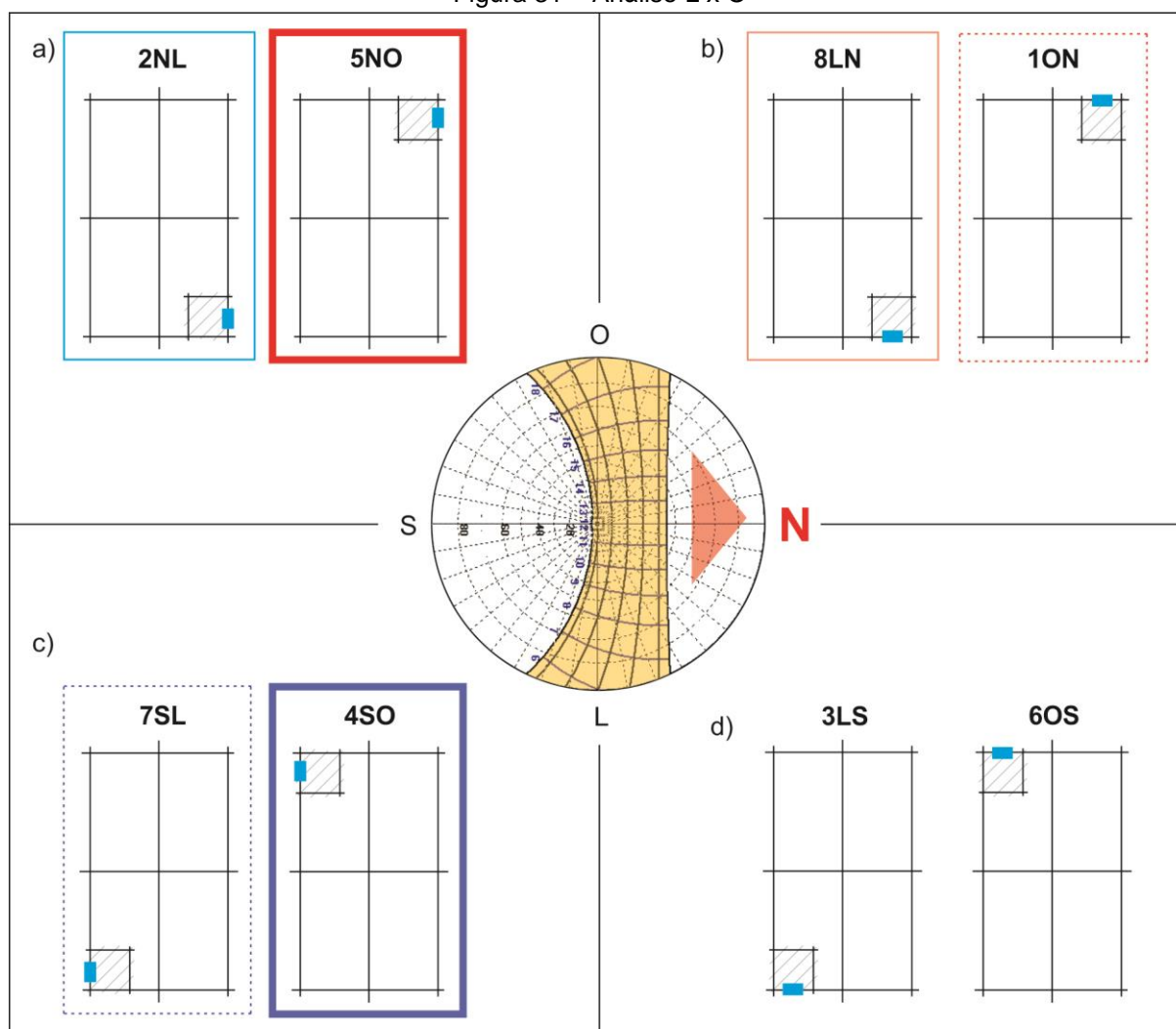
Conforme essas análises dos gráficos da TAB. 38, verifica-se que 4SO (melhor combinação de orientações pelas simulações) possui em todas as datas solares analisadas DTc menor que em 7SL (melhor combinação pela NBR 15.575-1). Nessas combinações com a janela voltada para a fachada S, percebe-se que incidência solar direta acontecer primeiro tem uma interferência maior no DTc do que se a intensidade do sol em relação ao horário do dia (se é sol da manhã ou da tarde), fazendo com que a combinação de S com L (7SL) cause mais DTc do que com O (4SO). Assim, ratifica-se que 4SO possui melhor DTc do que 7SL, sendo a melhor combinação de orientações, considerando os cenários analisados.

Quanto às discrepâncias entre as curvas com ocupação e sem ocupação dos cenários analisados, a possível interferência de mascarar o resultado real de DTc foi descartada por nos seis cenários trabalhados na TAB. 41 o GhDT de 4SO realmente ser maior que de 7SL.

4.4.5.2 Leste x Oeste e Norte x Sul

A FIG. 31 retrata as oito combinações de orientações trabalhadas do objeto de estudo organizadas para um mesmo N ou S, variando L e O. Em cada desenho do pavimento tipo estudado é destacado o ambiente analisado (a sala), mostrando a janela e a parede cega de cada combinação. Toda a figura está sendo avaliada em função da carta solar e cada dupla de combinações foi identificada como panorama separadamente. A FIG. 32 é apresentada em seguida à análise da FIG. 31, expondo situação inversa: organização mantendo combinações L ou O, variando N e S. Observa-se que as piores e melhores combinações de orientações por DTc também são destacadas nas figuras.

Figura 31 – Análise L x O



Legenda:

- 1º melhor DTc (melhor simulação)
- 2º melhor DTc
- 3º melhor DTc (melhor NBR 15.575-1)

Ambiente simulado (sala)

Dtc - desconforto térmico por calor

Fonte: A autora, 2019.

- 1º pior DTc (pior simulação)
- 2º pior DTc
- 3º pior DTc (pior NBR 15.575-1)
- Janela

Analisando a FIG. 31 em termos de DTc por panorama, verifica-se que ter a fachada N como parede cega (panorama “b”) proporciona à combinação um DTc entre os mais altos, visto que 8LN e 1ON tem DTc apenas mais baixo do que em 5NO. Por outro lado, ter a fachada S como parede que abriga a janela (panorama “c”) confere à combinação DTc melhores (mais baixos), considerando que 4SO e 7SL representam o melhor e o terceiro melhor DTc.

Em contrapartida, a fachada S como parede cega (panorama “d”) confere à combinação um nível de DTc intermediário: não estão nem entre os melhores, nem entre os piores – estando 3LS como quarto pior e 6OS como quarto melhor (ou quinto pior), conforme classificação anteriormente apresentada.

Já as combinações que abrigam a janela na fachada N (panorama “a”), possuem situações antagônicas, revelando que, diferentemente das demais combinações, a orientação da parede cega é determinante em sua classificação em termos de DTc, pois, enquanto 5NO é a combinação com pior DTc, 2NL é a que possui o segundo melhor DTc. Além disso, exclusivamente nesse panorama a combinação com O possui DTc muito pior do que a combinação com L. Nos três outros panoramas, a combinação com L possui DTc maior do que a com O, sendo que nos panoramas “b” e “d” essa superioridade é pequena e no panorama “c” ela é grande.

Destaca-se nesse panorama a influência da ventilação associada ao comportamento térmico detalhado pela análise das cartas solares. 2NL tem um dos melhores desempenhos pois ao atraso térmico característico do turno da manhã se alia com a janela orientada para os ventos predominantes de Vitória (N e Nordeste), sendo que o Nordeste é o vento mais intenso. Em contrapartida, NO recebe todo o calor incidente desde a manhã na fachada N no turno da tarde, momento a partir do qual também começa a receber a carga térmica extra da fachada cega. Por isso, por mais que a janela esteja orientada para N que possui vento predominante assim como Noroeste, são ventos não tão intensos quanto o da orientação Nordeste e existe o atenuante do comportamento cargas térmicas acumuladas advindas da radiação solar.

Inferese acerca do discutido que, assim como analisado nos gráficos de solstícios e equinócios de 4SO e 7SL (panorama “c”), o fato de na fachada L a radiação solar incidir primeiro no ambiente se prepondera em termos de DTc ao turno horário de incidência solar (manhã ou tarde) nas combinações de orientações, com exceção de quando a fachada da janela é N. Associa-se a essa exceção o perfil da carta solar de Vitória que possui mais de metade de sua trajetória solar voltada para N, acumulando o calor dessa orientação com o da sua orientação complementar em maior parte do ano (FIG. 31). Assim, mais de 60% do ano N recebe sol diretamente ao longo de todo o dia – o que acontece somente nessa orientação, visto que L e O recebem sol diretamente apenas em metade do dia solar e que S recebe sol direto de forma expressiva ao longo de todo o dia apenas nos meses de novembro a janeiro.

Por esse motivo da prevalência do sol direto ao longo do dia e do ano na fachada N que o panorama “b” possui DTc entre os piores (mostrando a contribuição da parede cega na combinação) e 5NO (panorama “a”) possui o pior DTc. 2NL (panorama “a”) foge à regra, o que precisaria ser melhor investigado num trabalho futuro, visto não pertencer ao escopo deste trabalho. Contudo, entende-se que isso ocorre devido ao horário da incidência solar nessa parede cega de 2NL não coincidir com o horário de acúmulo de calor dentro do ambiente, como acontece na 5NO – analisado graficamente anteriormente.

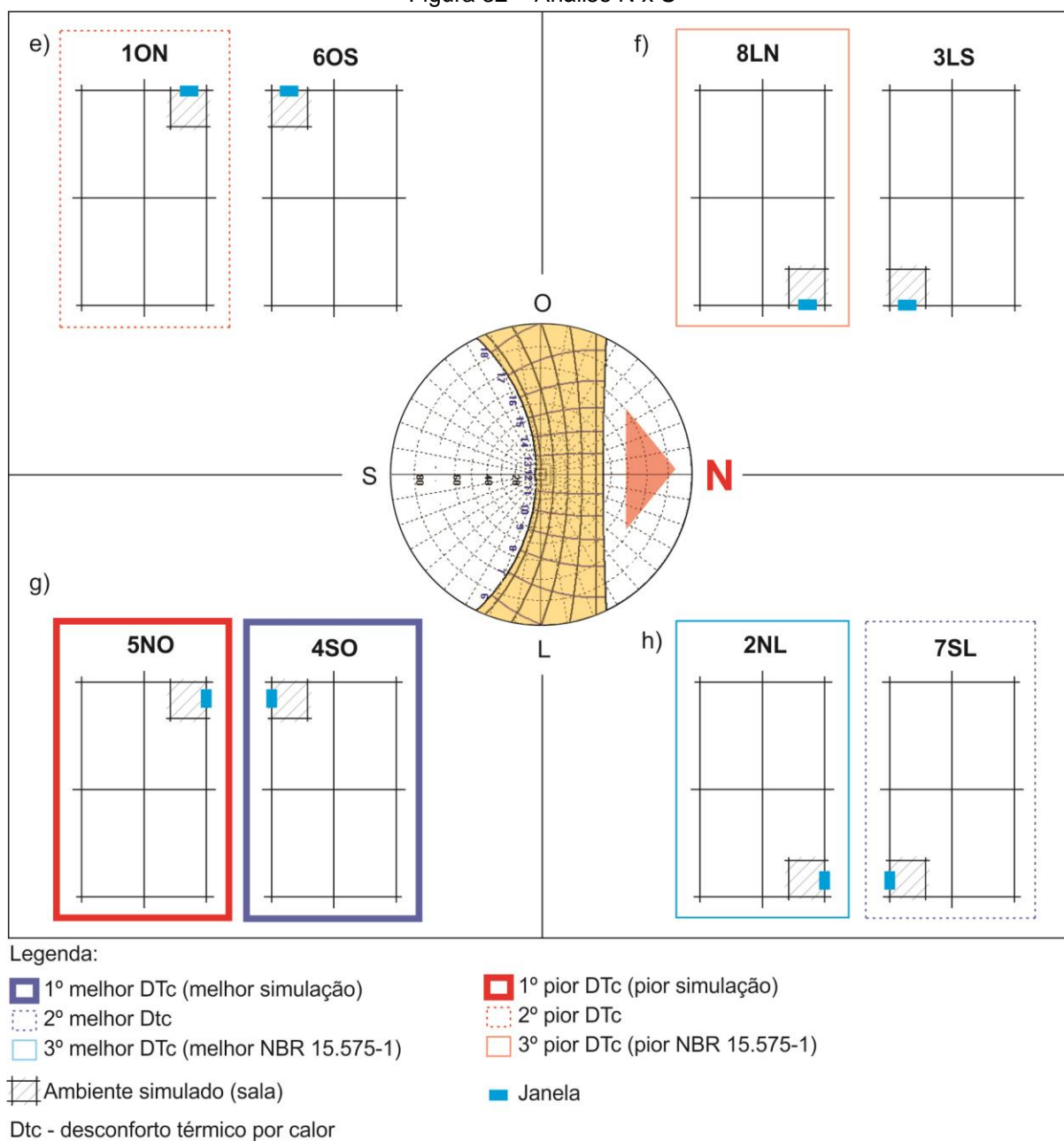
Nessa mesma linha de raciocínio, compreende-se que as combinações com S como parede cega (3LS e 6OS, panorama “d”) ficam com DTc intermediários por terem uma carga direta e

constante durante o ano na sua fachada com janela (“L” ou “O” respectivamente), mas também por não receberem sol diretamente na maior parte do ano – ainda que isso aconteça justamente no verão.

Dessa forma, na relação L x O, se a janela da combinação não estiver voltada para N, as combinações com L têm valores mais altos de DTc por a combinação receber a incidência solar primeiro se comparada com a O, considerando a dinâmica da retenção de calor dentro do ambiente estudado com os horários de incidência solar da fachada complementar. Caso a janela esteja para N, essa relação L x O se modifica em função da grande carga térmica recebida ao longo do dia e do ano diretamente sobre essas fachadas, que acumula mais à tarde do que pela manhã considerando a contribuição térmica de cada fachada.

Com isso é possível entender o porquê de 4SO possuir valores de DTc tão abaixo das demais combinações de orientações. Sua combinação é exatamente oposta à incidência solar diária ao longo do ano que se inicia no L e predomina durante o dia e ano no N. A combinação 6OS também possui as orientações antagônicas à carta solar de Vitória. Porém, ressalva-se que nesta a janela permite entrada do sol direto durante metade do dia de todos os dias do ano enquanto em 4SO a posição da janela representa o ponto crucial dessa oposição, pois a fachada S recebe menos sol durante todo o ano e possui a janela por onde se penetra mais radiação solar, além de O ser a última fachada a receber sol durante o dia.

Figura 32 – Análise N x S



Fonte: A autora, 2019.

Já nas relações N x L, expostas na FIG. 32, os panoramas “e”, “f” e “g” possuem a combinação de orientação com N com DTc maior que S, como esperado e como supra-analisado. O único panorama que se excetua dessa comparação é o “h”. Sobre 7SL possuir DTc maior do que 2NL, deve-se ao fato de o desconforto de 7SL se concentrar no verão, como visto nos gráficos dos solstícios e equinócios de 7SL da TAB. 38. Assim, justifica-se essa peculiaridade desse panorama de o DTc da combinação com S ser maior do que a com N, uma vez que a trajetória solar do verão (incidência solar direta na fachada) é voltada para S.

Com essa organização das combinações de orientações da FIG. 32, é possível complementar a análise da FIG. 31, percebendo um padrão nos panoramas que terminam com a mesma orientação (combinações coincidentes na parede cega). Assim, nota-se que ter L na parede cega é um dos fatores mais relevantes para se obter os melhores DTc (panorama “h”), assim como antagonicamente a fachada N está para os piores DTc (panorama “b”). As combinações com parede cega na fachada O geram as duas situações mais extremas (panorama “g”), sendo que com a janela para N (5NO) se tem o pior DTc; e para S, o melhor (4SO). Já as combinações com parede cega S possuem os DTc intermediários (panorama “d”) – TAB. 39.

Tabela 39 – 1º critério de classificação das combinações de orientações por ordem decrescente de DTc para os panoramas com orientações de fachada cega coincidente – por fachada cega

Fachada cega	Classificação DTc em ordem decrescente	Panorama (FIG. 36 e 37)	Situação
O ¹	O pior (1º)	“g”	✓
N	Piores (2º e 3º)	“b”	✓
S	Intermediários (4º e 5º)	“d”	✓ !
L	Melhores (6º e 7º)	“h”	✓ !
O ²	O melhor (8º)	“g”	!

Legenda: ✓ Resultado conforme NBR 15.575-1 ! Resultado contrário à NBR 15.575-1

Nota: ¹ Antecedido de N (5NO); ² Antecedido de S (4SO).

Fonte: A autora, 2019.

Observa-se sobre a TAB. 39 que, pela ordem da NBR 15.575-1 (ABNT, 2013a), as orientações seriam na seguinte ordem decrescente de DTc: O, N, L e S. Logo, a classificação das orientações de acordo com o resultado das simulações é parcialmente condizente com a da norma, pois S e L estão em posições trocadas, mas ao mesmo tempo estão abaixo de N e O respectivamente. A principal incompatibilidade é o de O (no caso combinado com S como 4SO) como o integrante da melhor combinação de orientações.

Entre as combinações desses panoramas cujas paredes cegas têm a mesma orientação (panoramas “b”, “d”, “g” e “h”), a superioridade de DTc de uma combinação para outra depende automaticamente da orientação da sua janela. Nesse caso, L deixa de se associar com baixos DTc e passa a ter DTc pior do que O (panoramas “b” e “d”), uma vez que nessa situação é a janela que muda de posição e o fato de a incidência solar acontecer primeiro em L do que em O passa a coincidir com a carga térmica da fachada cega gerando esse cenário. Já N em relação à S (panoramas “g” e “h”), o DTc depende da trajetória solar. Se for com parede cega em O (panorama “g”), N tem o pior DTc entre as oito combinações de orientações contra o melhor DTc se fosse S com a janela. Já se for L na parede cega (panorama “h”), a combinação com S que tem desempenho pior, porém apenas um pouco (TAB. 40). Isto acontece assim pelo desconforto associado ao verão, como supradiscutido.

Tabela 40 – 2º critério de classificação das combinações de orientações por ordem decrescente de DTc para os panoramas com orientações de fachada cega coincidente – por fachada da janela

Fachada janela fixa	Classificação relativa	Panorama (FIG. 36 e 37)	Situação
L	S pior que N	“h”	!
O	N pior que S	“g”	✓
N	L pior que O	“b”	!
S	L pior que O	“d”	!

Legenda: ✓ Resultado conforme NBR 15.575-1 ! Resultado contrário à NBR 15.575-1

Fonte: A autora, 2019.

Vale ressaltar que na classificação pelas paredes cegas se mantém um padrão bem regular pelo tipo de absorção solar mais lento por ser por meio de elemento opaco. Já na classificação pela outra orientação da combinação, como a absorção de radiação solar também acontece por meio da janela de vidro transparente, que representa um elemento quase 90% transparente à radiação solar, a quantidade de energia solar e a velocidade de entrada dessa energia dentro do ambiente é muito maior e mais rápida. Consequentemente, as mesmas orientações, porém com posições diferentes em relação ao ambiente e à janela, apresentam comportamentos térmicos distintos.

Já quando se analisam as combinações com a parede da janela coincidente (panoramas “a”, “c”, “e” e “f”, FIG. 31 e 32), não se observa nenhuma hierarquização total em termos de DTc. Contudo, identifica-se que entre as combinações desses panoramas as seguintes situações (TAB. 41):

Tabela 41 – Classificação relativa das combinações de orientações por DTc para os panoramas com orientações da fachada da janela coincidente

Fachada janela fixa	Classificação relativa	Panorama (FIG. 36 e 37)	Situação
L	N pior que S	“f”	✓
O	N pior que S	“e”	✓
N	O pior que L	“a”	✓
S	L pior que O	“c”	!

Legenda: ✓ Resultado conforme NBR 15.575-1 ! Resultado contrário à NBR 15.575-1

Fonte: A autora, 2019.

Em suma, considerando as FIG. 31 e 32, verifica-se que o DTc não pode ser classificado por orientação. O DTc depende em primeiro lugar da orientação de sua parede cega; e em segundo, da orientação da parede da janela. Logo, os panoramas mais importantes de serem analisados são: “b”, “d”, “g” e “h”. As orientações das paredes cegas desses panoramas mantêm um padrão de DTc, sendo do pior para melhor: (N)O, N, S, L, (S)O. Já as paredes das janelas de tais panoramas, variam: L é pior que O em função da posição da janela; e N é pior do que S, exceto no panorama “h” de acordo com a peculiaridade de o desconforto dessas combinações se concentrarem no verão. Assim, a orientação dependendo de sua posição na

combinação (se é a parede da janela ou a cega) pode apresentar situações paradoxais em termos de DTc em decorrência da posição da janela, da trajetória solar e do acúmulo de calor das duas orientações da combinação.

Além disso, quatro panoramas revelam paradoxos entre os comparativos dos DTc de suas CO: “b”, “c” e “d”, em que L é pior que O; e “h”, em que S é pior que N. Os panoramas “b” e “d” representam as situações cujas janelas são opostas a L e O. Foi possível perceber que nesses casos L possui desempenho pior por receber a incidência solar primeiro e coincidir/ acumular com a carga térmica da fachada complementar da CO. Assim, L apresenta desconforto térmico por calor maior do que em O à combinação de cargas térmicas advindas das duas fachadas do ambiente analisado e pelo atraso térmico das paredes externas analisadas. O panorama “c” possui situação similar, porém com ambas janelas para S. Já o panorama “h” se deve ao fato de o período de DTc coincidir com a estação do verão.

4.4.6 Análise detalhada entre as normas de desempenho: GhDT e QHDT

Após verificação de que GhDT é o índice que melhor representa a realidade dos resultados e após ratificação e validação das combinações de orientações frente aos parâmetros da NBR 15.575-1 (ABNT, 2013a), apresentam-se nos itens 4.4.6.1 a 4.4.6.8 os gráficos de GHDT e QHDT detalhados das oito combinações de orientações trabalhadas (GRÁF. 5 a 20) com destaque para o valor máximo permitido para combinação de PE/U com α de acordo com os parâmetros das normas de desempenho estudada e de seu referencial de comparação – respectivamente: NBR 15.575-4 (ABNT, 2013d) e NBR 15.220-3 (ABNT, 2005c). Em seguida à exposição desses gráficos, tem-se o item 4.4.6.9 com a compilação e análise da diferença de desempenho térmico (dt) x DTc entre as normativas abordadas. As combinações foram expostas em ordem decrescente de GhDT por calor (classificação exposta na TAB. 39, item 4.4.4), visto que o DTf se revelou desprezível para a cidade de estudo e a recomendação da NBR 15.575-1 (ABNT, 2013a) de verificação de desconforto apenas por calor para ZB8.

4.4.6.1 Combinação de orientações 5NO

Gráfico 5 – GhDT 5NO. Destaque para α máx NBR 15.575-4 e NBR 15.220-3

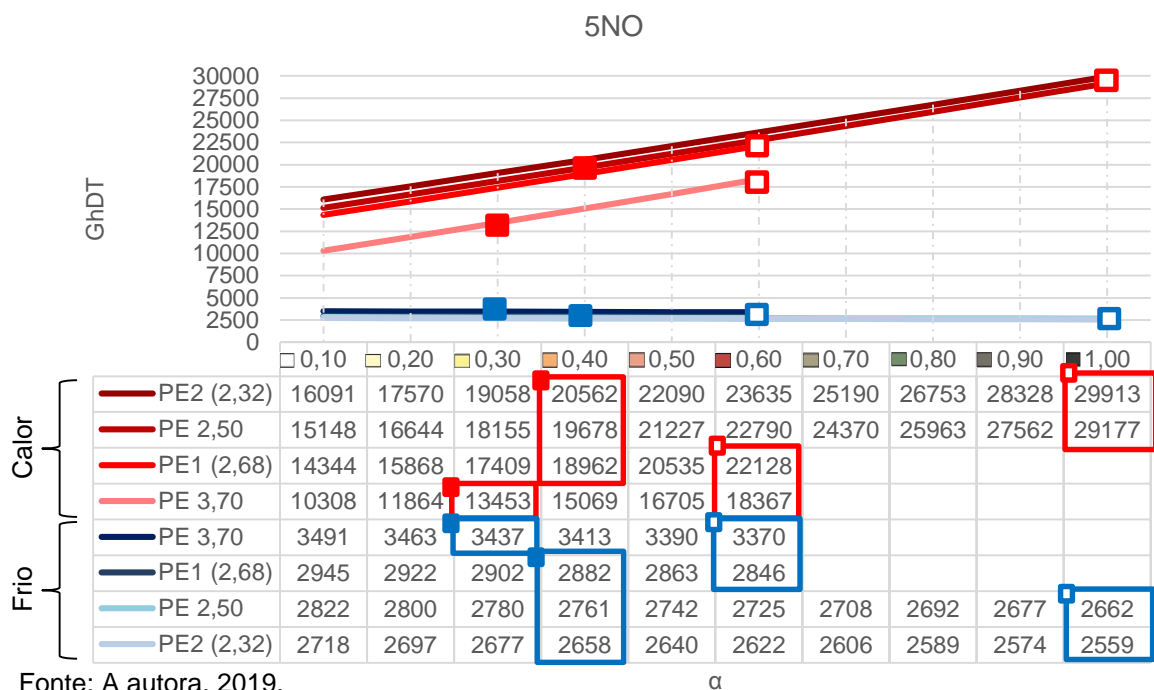
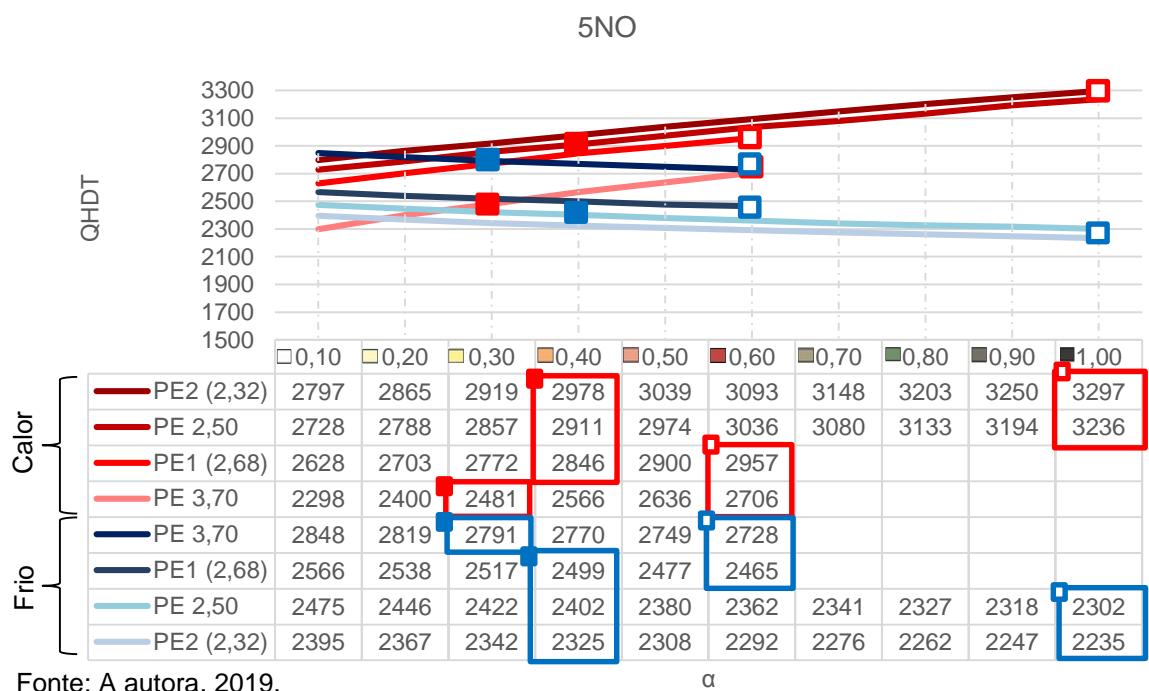


Gráfico 6 – QHDT 5NO. Destaque para α máx NBR 15.575-4 e NBR 15.220-3



4.4.6.2 Combinação de orientações 8LN

Gráfico 7 – GhDT 8LN. Destaque para α máx NBR 15.575-4 e NBR 15.220-3

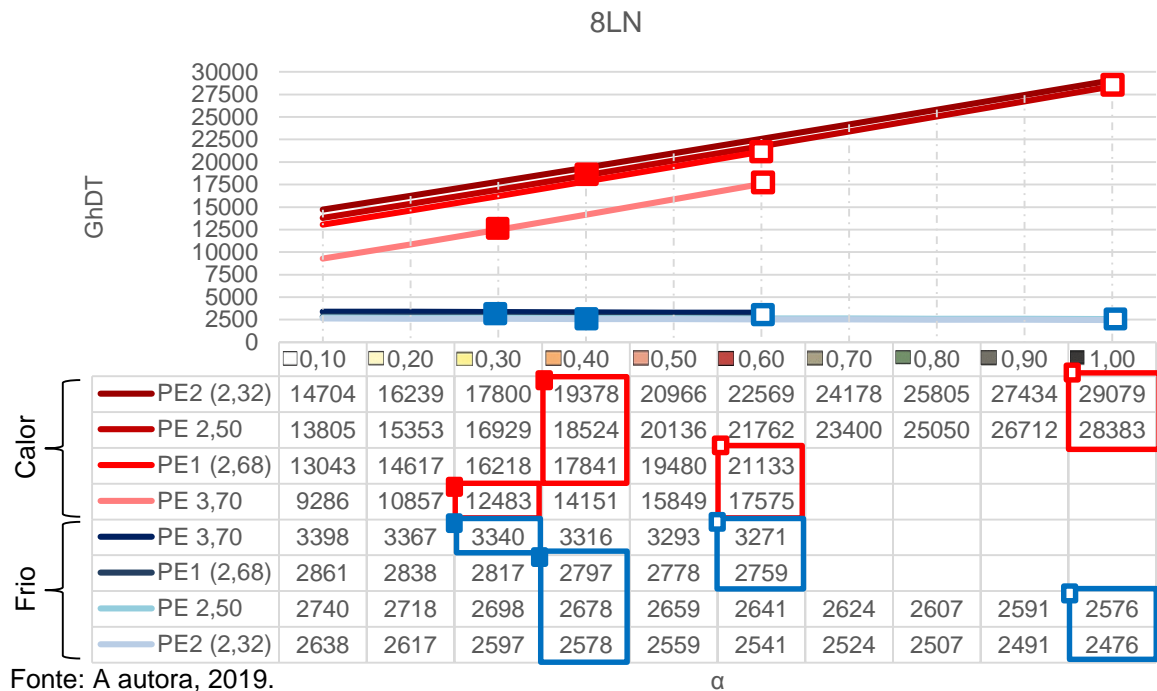
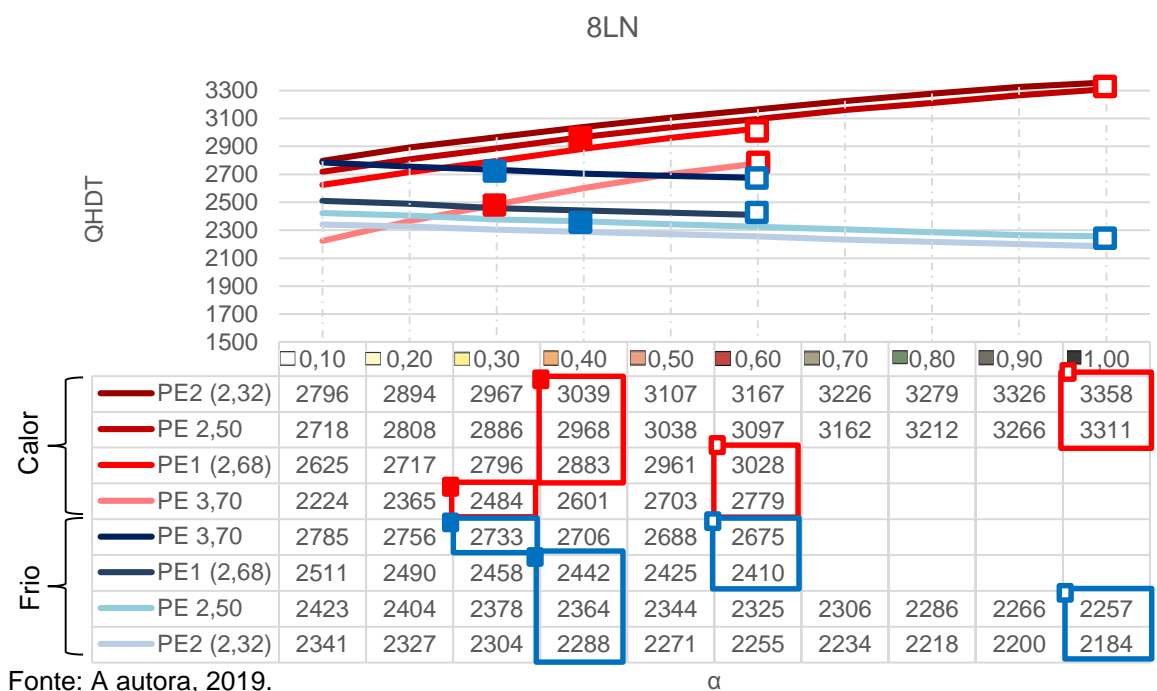


Gráfico 8 – QHDT 8LN. Destaque para α máx NBR 15.575-4 e NBR 15.220-3



4.4.6.3 Combinação de orientações 1ON

Gráfico 9 – GhDT 1ON. Destaque para α máx NBR 15.575-4 e NBR 15.220-3

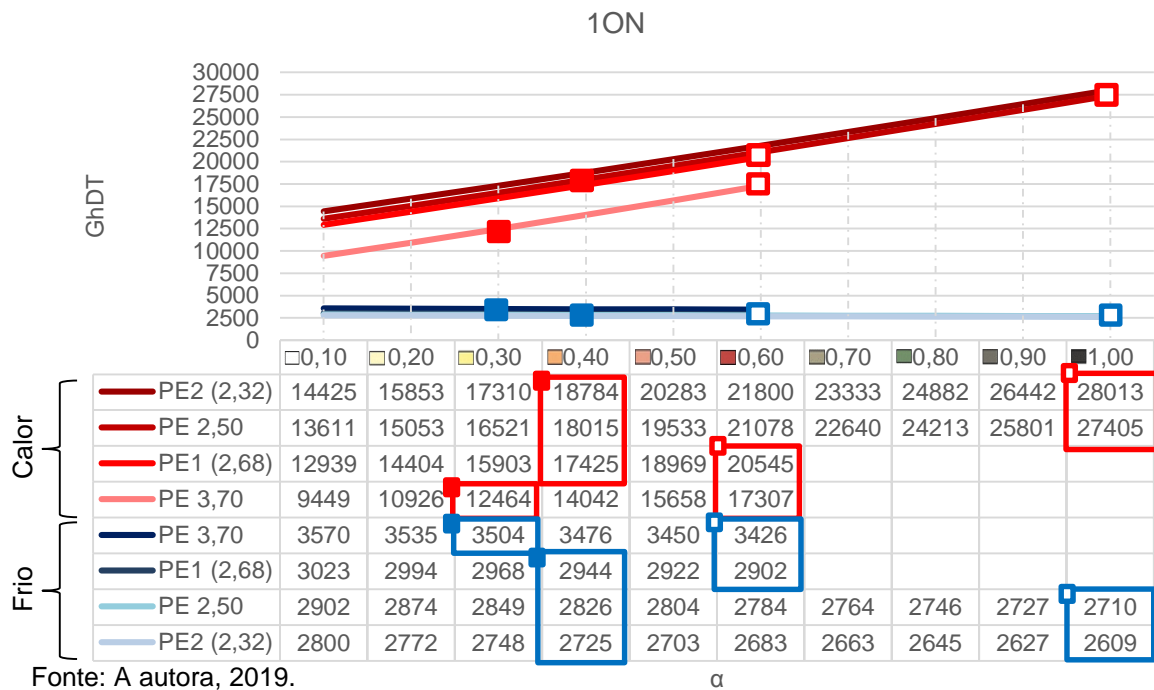
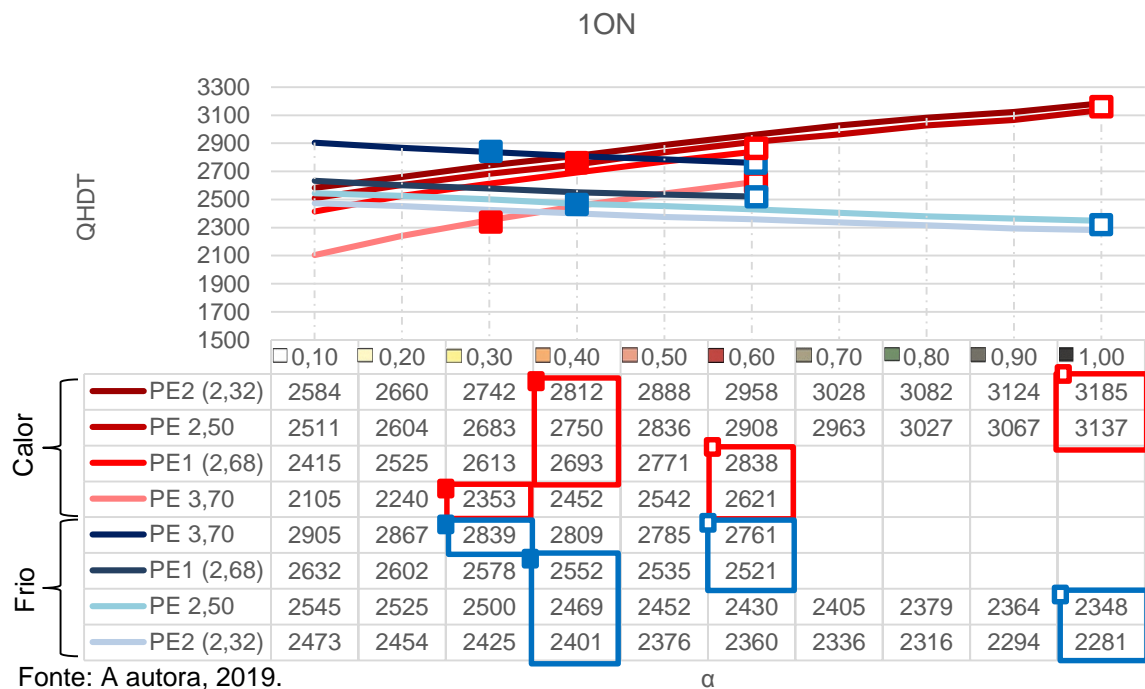


Gráfico 10 – QHDT 1ON. Destaque para α máx NBR 15.575-4 e NBR 15.220-3



4.4.6.4 Combinação de orientações 3LS

Gráfico 11 – GhDT 3LS. Destaque para α máx NBR 15.575-4 e NBR 15.220-3

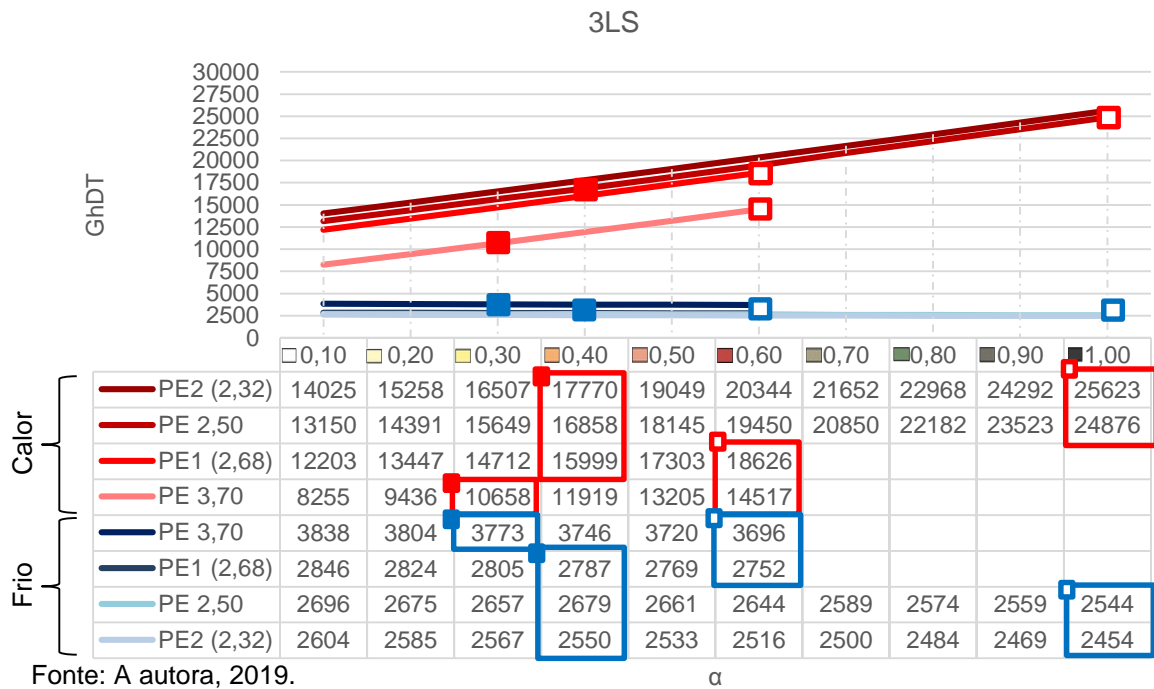
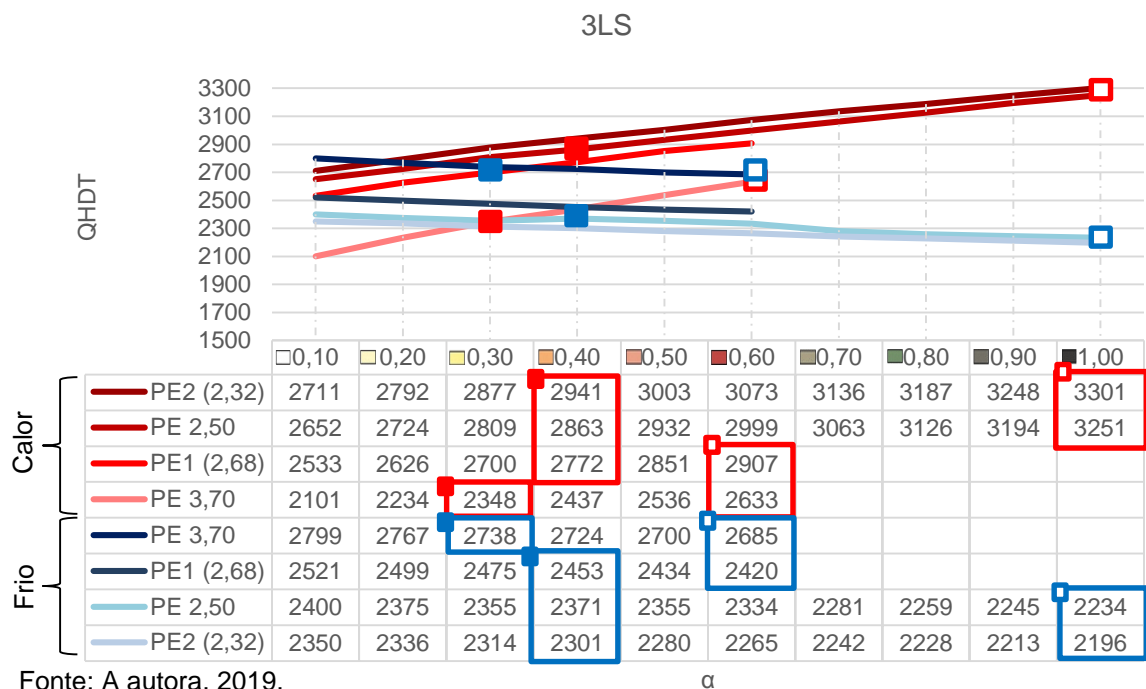


Gráfico 12 – QHDT 3LS. Destaque para α máx NBR 15.575-4 e NBR 15.220-3



4.4.6.5 Combinação de orientações 6OS

Gráfico 13 – GhDT 6OS. Destaque para α máx NBR 15.575-4 e NBR 15.220-3

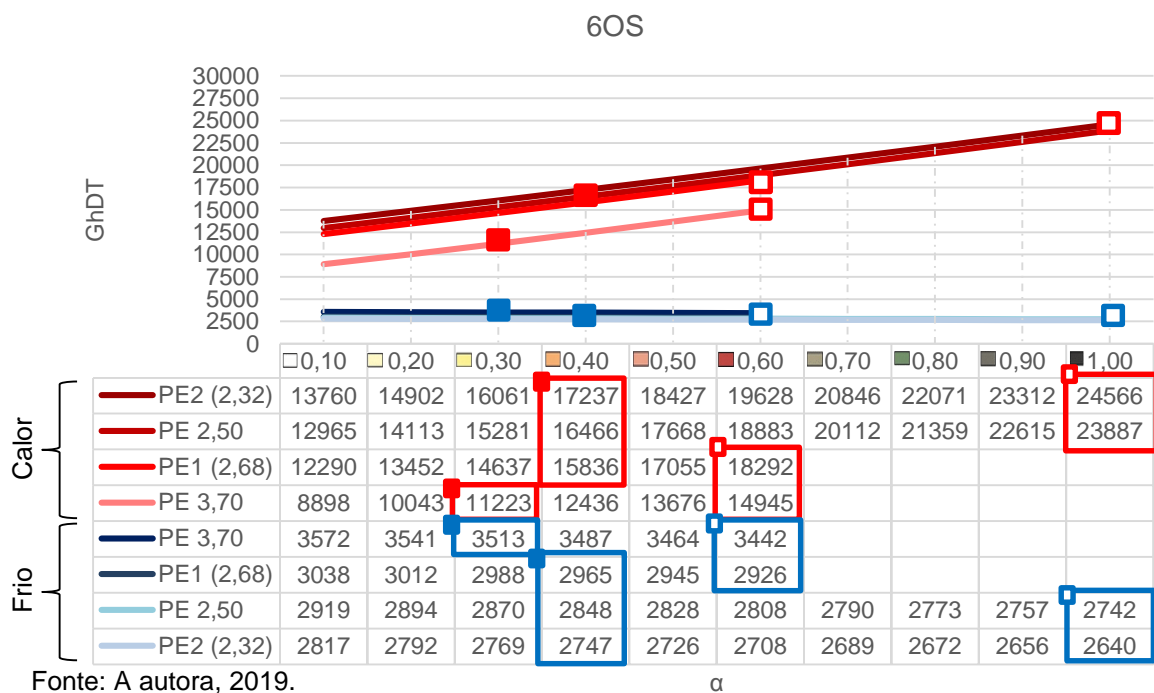
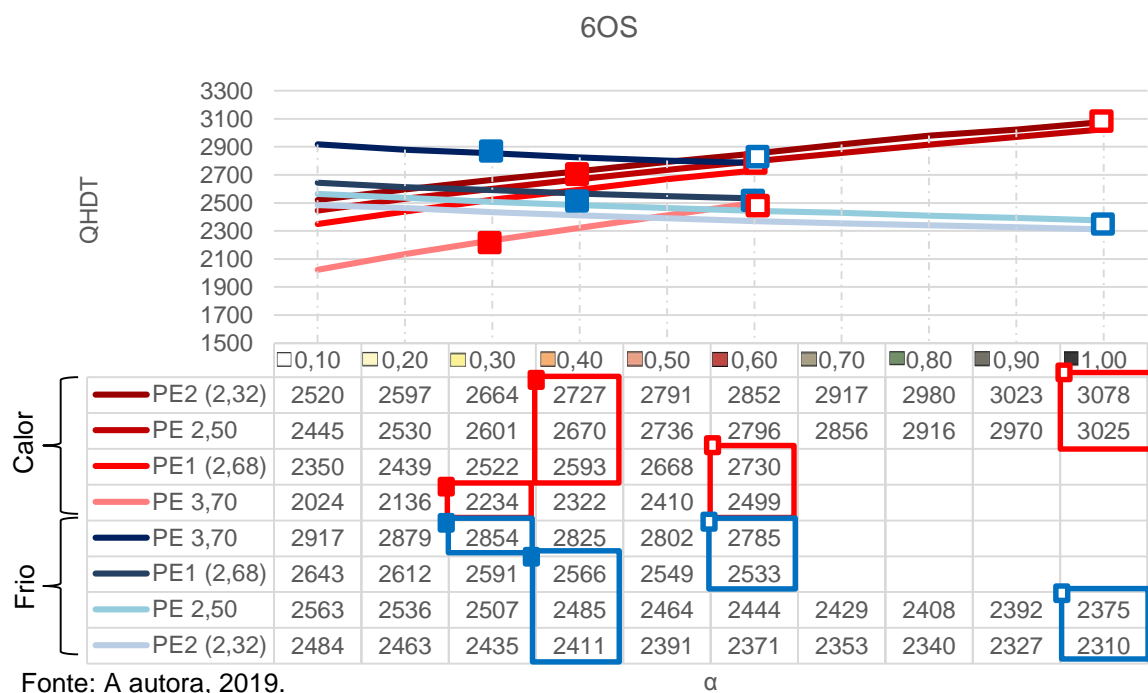


Gráfico 14 – QHDT 6OS. Destaque para α máx NBR 15.575-4 e NBR 15.220-3



4.4.6.6 Combinação de orientações 7SL

Gráfico 15 – GhDT 7SL. Destaque para α máx NBR 15.575-4 e NBR 15.220-3

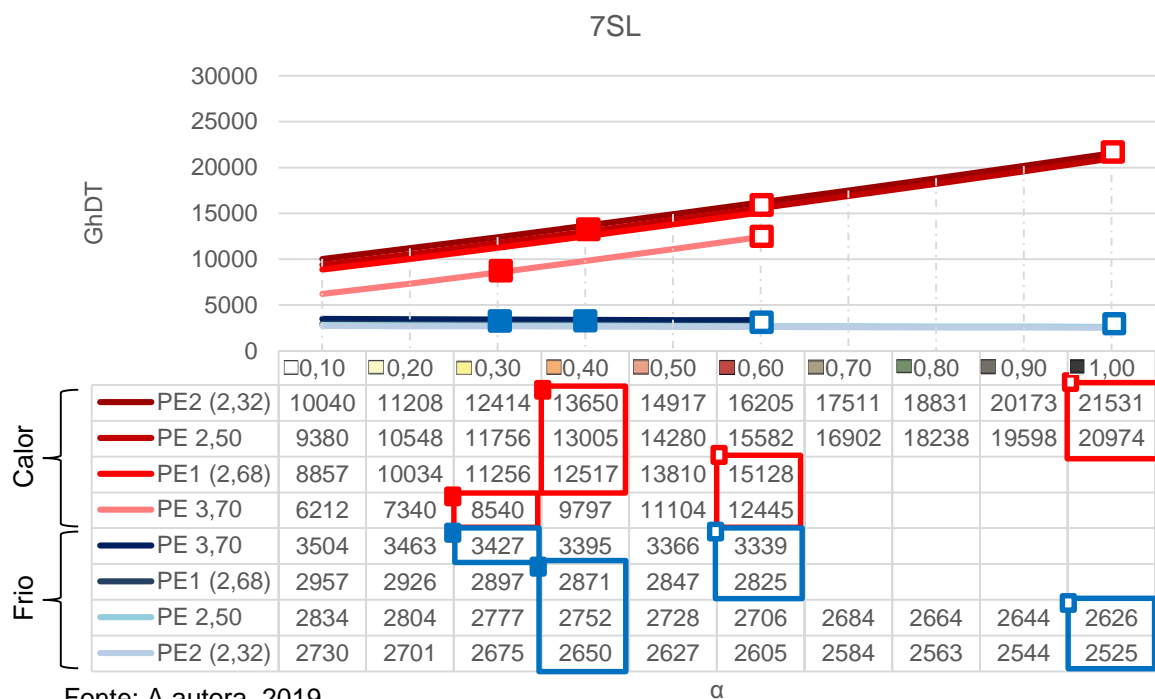
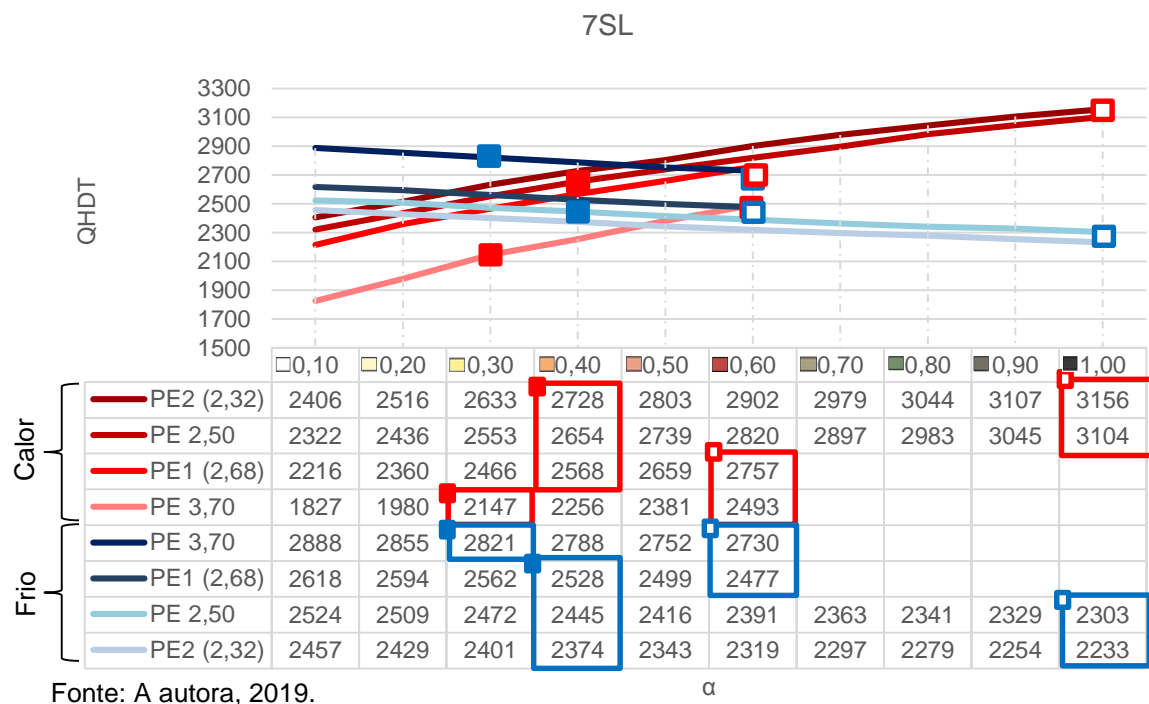


Gráfico 16 – QHDT 7SL. Destaque para α máx NBR 15.575-4 e NBR 15.220-3



4.4.6.7 Combinação de orientações 2NL

Gráfico 17 – GhDT 2NL. Destaque para α máx NBR 15.575-4 e NBR 15.220-3

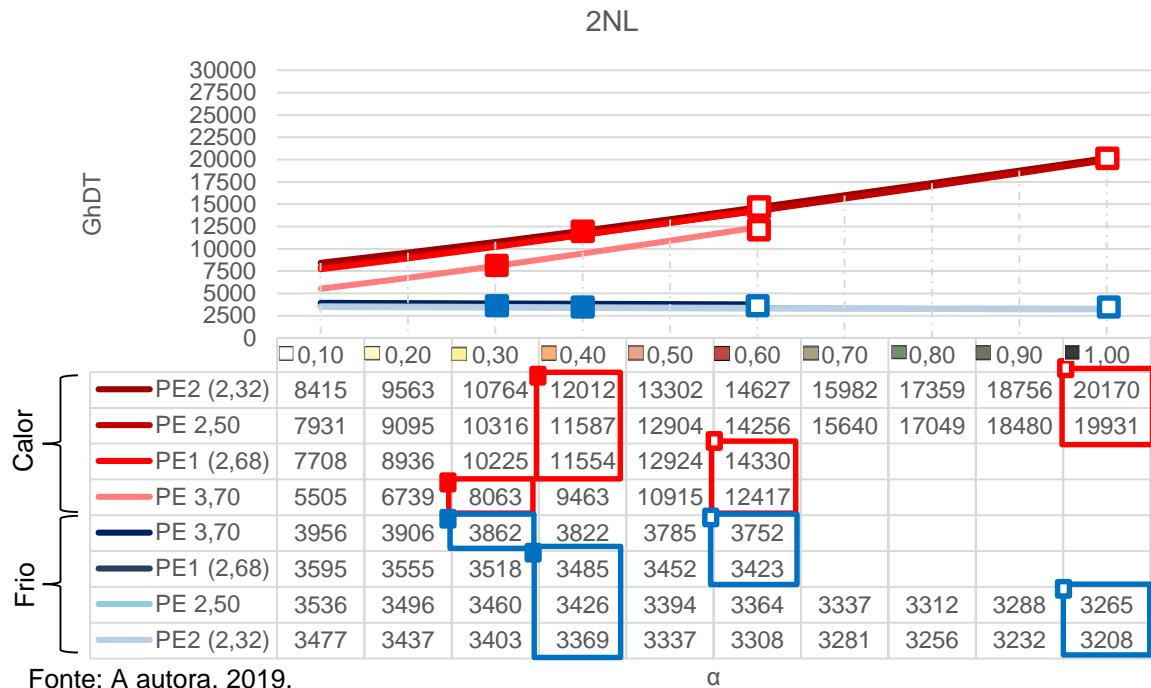
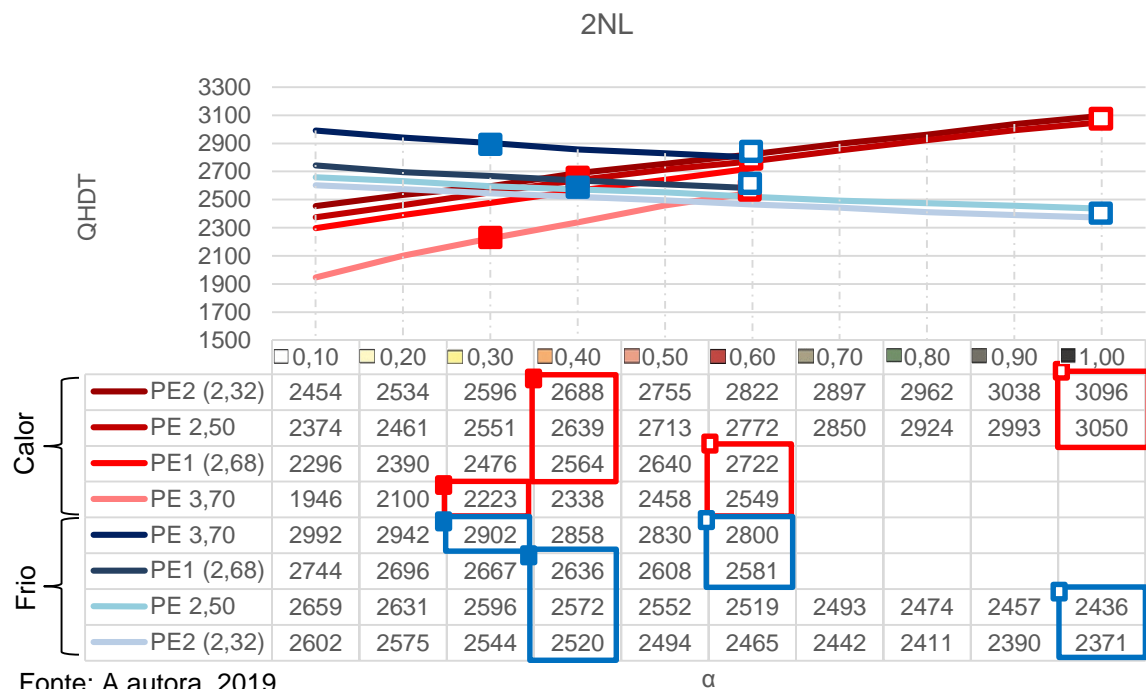


Gráfico 18 – QHDT 2NL. Destaque para α máx NBR 15.575-4 e NBR 15.220-3



4.4.6.8 Combinação de orientações 4SO

Gráfico 19 – GhDT 4SO. Destaque para α máx NBR 15.575-4 e NBR 15.220-3

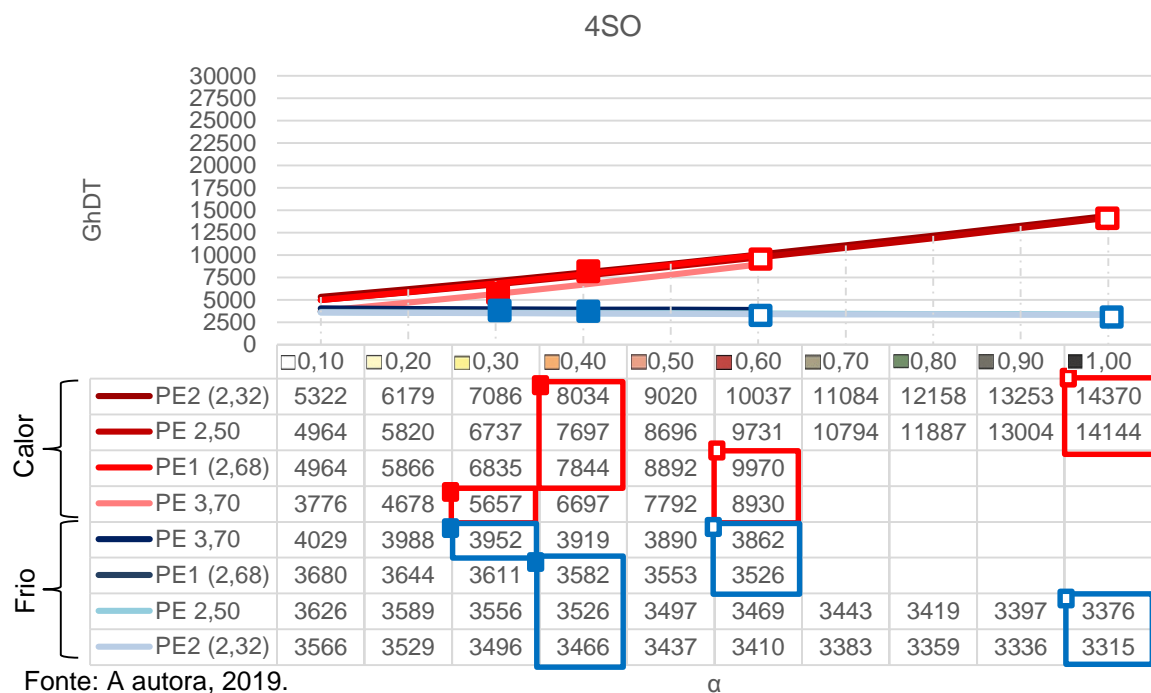
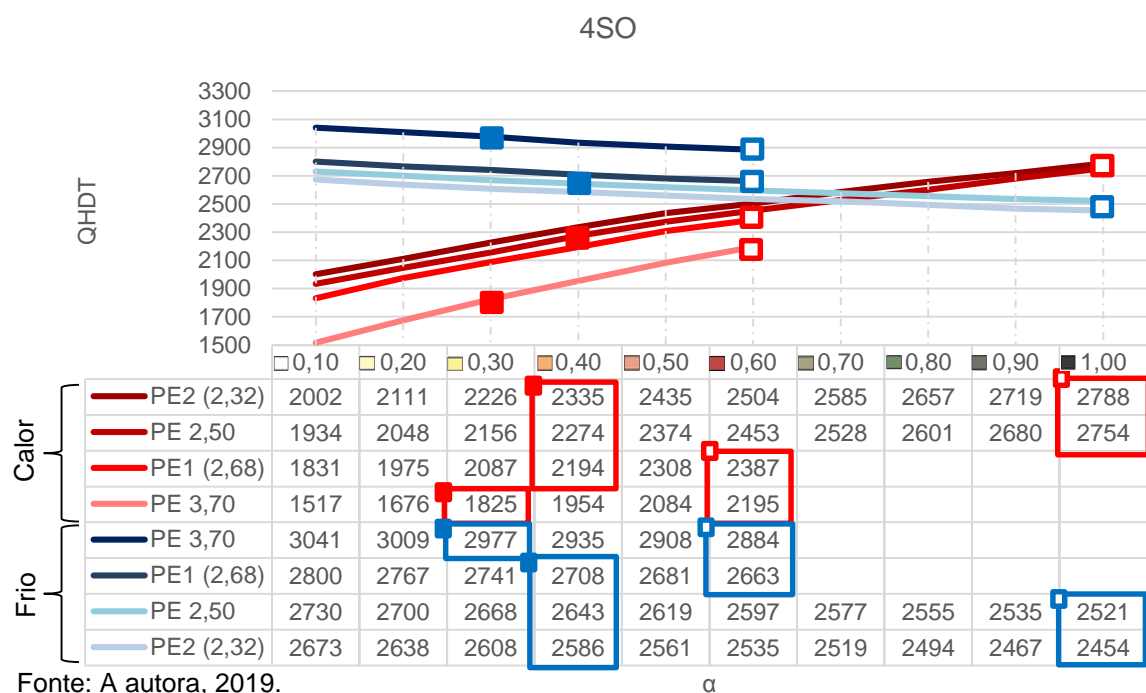


Gráfico 20 – QHDT 4SO. Destaque para α máx NBR 15.575-4 e NBR 15.220-3



4.4.6.9 Compilação e análise

Os GhDT e QHDT máx por calor e por frio de cada PE por NBR trabalhada e por combinação de orientação destacados nos GRÁF. 5 a 20 foram compilados nas TAB. 42 e 43 respectivamente, sendo que as combinações foram organizadas em ordem decrescente de GhDT por calor.

Tabela 42 – GhDT e QHDT máximos por calor das normas de desempenho por combinação de orientações

PE		NBR 15.575-4	NBR 15.220-3	≠	NBR 15.575-4	NBR 15.220-3	≠
		5NO			8LN		
GhDT máx	2 (2,32)	29913	20562	9351	29079	19378	9701
	2,50	29177	19678	9500	28383	18524	9859
	1 (2,68)	22128	18962	3167	21133	17841	3292
	3,70	18367	13453	4914	17575	12483	5092
QHDT máx	2 (2,32)	3297	2978	319	3358	3039	319
	2,50	3236	2911	325	3311	2968	343
	1 (2,68)	2957	2846	111	3028	2883	145
	3,70	2706	2481	225	2779	2484	295
		1ON			3LS		
GhDT máx	2 (2,32)	28013	18784	9229	25623	17770	7853
	2,50	27405	18015	9390	24876	16858	8018
	1 (2,68)	20545	17425	3120	18626	15999	2627
	3,70	17307	12464	4843	14517	10658	3859
QHDT máx	2 (2,32)	3185	2812	373	3301	2941	360
	2,50	3137	2750	387	3251	2863	388
	1 (2,68)	2838	2693	145	2907	2772	135
	3,70	2621	2353	268	2633	2348	285
		6OS			7SL		
GhDT máx	2 (2,32)	24566	17237	7329	21531	13650	7882
	2,50	23887	16466	7422	20974	13005	7969
	1 (2,68)	18292	15836	2457	15128	12517	2611
	3,70	14945	11223	3723	12445	8540	3905
QHDT máx	2 (2,32)	3078	2727	351	3156	2728	428
	2,50	3025	2670	355	3104	2654	450
	1 (2,68)	2730	2593	137	2757	2568	189
	3,70	2499	2234	265	2493	2147	346
		2NL			4SO		
GhDT máx	2 (2,32)	20170	12012	8158	14370	8034	6335
	2,50	19931	11587	8344	14144	7697	6447
	1 (2,68)	14330	11554	2776	9970	7844	2126
	3,70	12417	8063	4354	8930	5657	3273
QHDT máx	2 (2,32)	3096	2688	408	2788	2335	453
	2,50	3050	2639	411	2754	2274	480
	1 (2,68)	2722	2564	158	2387	2194	193
	3,70	2549	2223	326	2195	1825	370

Nota: PE2 (2,32): α máx NBR 15.220-3 = 0,40; α máx NBR 15.575-4 = 1,00;

PE2,50: α máx NBR 15.220-3 = 0,40; α máx NBR 15.575-4 = 1,00;

PE1 (2,68): α máx NBR 15.220-3 = 0,40; α máx NBR 15.575-4 = 0,60;

PE3,70: α máx NBR 15.220-3 = 0,30; α máx NBR 15.575-4 = 0,60.

Fonte: A autora, 2019.

Tabela 43 – GhDT e QHDT máximos por frio das normas de desempenho por combinação de orientações

PE		NBR 15.575-4	NBR 15.220-3	≠	NBR 15.575-4	NBR 15.220-3	≠
		5NO			8LN		
GhDT máx	2 (2,32)	2559	2658	-99	2476	2578	-102
	2,50	2662	2761	-99	2576	2678	-103
	1 (2,68)	2846	2882	-36	2759	2797	-38
	3,70	3370	3437	-67	3271	3340	-69
QHDT máx	2 (2,32)	2235	2325	-90	2184	2288	-104
	2,50	2302	2402	-100	2257	2364	-107
	1 (2,68)	2465	2499	-34	2410	2442	-32
	3,70	2728	2791	-63	2675	2733	-58
		1ON			3LS		
GhDT máx	2 (2,32)	2609	2725	-116	2454	2550	-96
	2,50	2710	2826	-116	2544	2679	-135
	1 (2,68)	2902	2944	-42	2752	2787	-35
	3,70	3426	3504	-78	3696	3773	-77
QHDT máx	2 (2,32)	2281	2401	-120	2196	2301	-105
	2,50	2348	2469	-120	2234	2371	-137
	1 (2,68)	2521	2552	-31	2420	2453	-33
	3,70	2761	2839	-78	2620	2738	-53
		6OS			7SL		
GhDT máx	2 (2,32)	2640	2747	-107	2525	2650	-125
	2,50	2742	2848	-106	2626	2752	-126
	1 (2,68)	2926	2965	-39	2825	2871	-46
	3,70	3442	3513	-71	3339	3427	-88
QHDT máx	2 (2,32)	2310	2411	-101	2233	2374	-141
	2,50	2375	2485	-110	2303	2445	-142
	1 (2,68)	2533	2566	-33	2477	2528	-51
	3,70	2785	2854	-69	2730	2821	-91
		2NL			4SO		
GhDT máx	2 (2,32)	3208	3369	-161	3315	3466	-151
	2,50	3265	3426	-161	3376	3526	-150
	1 (2,68)	3423	3485	-62	3526	3582	-55
	3,70	3752	3862	-110	3862	3952	-90
QHDT máx	2 (2,32)	2371	2520	-149	2454	2586	-132
	2,50	2436	2572	-136	2521	2643	-122
	1 (2,68)	2581	2636	-55	2663	2708	-45
	3,70	2800	2902	-102	2884	2977	-93

Nota: PE2 (2,32): α máx NBR 15.220-3 = 0,40; α máx NBR 15.575-4 = 1,00;

PE2,50: α máx NBR 15.220-3 = 0,40; α máx NBR 15.575-4 = 1,00;

PE1 (2,68): α máx NBR 15.220-3 = 0,40; α máx NBR 15.575-4 = 0,60;

PE3,70: α máx NBR 15.220-3 = 0,30; α máx NBR 15.575-4 = 0,60.

Fonte: A autora, 2019.

Como discutido anteriormente, nenhum resultado atende à aceitabilidade de 80% da ASHRAE 55 (2013), porém existem cenários em que a incompatibilidade dos parâmetros de desempenho com conforto térmico é menor – cenários mais favoráveis. No que se refere à análise em relação às normas de desempenho térmico, percebe-se que em 100% dos casos

trabalhados a NBR 15.575-4 (ABNT, 2013d) alcança DTc pior e DTf melhor que a NBR 15.220-3 (ABNT, 2005c) – como visualizado na coluna “≠” das TAB. 42 e 43 que traz a subtração do DT respectivo da NBR 15.575-4 (norma estudada) pelo da NBR 15.220-3 (norma de referência para comparação).

Como destacado na TAB. 42, as diferenças mais extremas de GhDT da NBR 15.575-4 para a NBR 15.220-3 são de: 9859 e 2126 graus-horas de calor (PE2,50 8LN e PE1 (2,68) 4SO respectivamente), dando uma diferença de 7733 graus-horas. Enquanto que para o GhDT da TAB. 43 as diferenças mais extremas são de: 161 e 35 graus-horas de frio (PE2 (2,32) e PE 2,50 2NL e PE1 (2,68) 3LS respectivamente), dando uma diferença de 126 graus-horas. Assim, a intensidade do desconforto, que é o índice mais condizente com a realidade, é 61,37 vezes maior do calor para o frio entre os cenários mais antagônicos da NBR 15.575-4 para a NBR 15.220-3. Além disso, essas análises expressam o quanto a escolha da CO e dos parâmetros normativos a serem atendidos podem impactar no DTc e DTf do ambiente trabalhado.

Já em termos de QHDT, as diferenças mais extremas entre as normas são de: 480 e 111 horas por calor (PE2,50 4SO e PE1 (2,68) 5NO respectivamente – destaque TAB. 42), dando uma diferença de 369 horas ou 15,38 dias; e 149 e 31 horas por frio (PE2 (2,32) 2NL e PE1 (2,68) 1ON respectivamente – destaque TAB. 43), dando uma diferença de 118 horas ou 4,92 dias. Assim, a frequência do desconforto mensurada em horas, mesmo que mascare o desconforto real, revela uma superioridade do desconforto por calor superior a três vezes do desconforto por frio entre os cenários mais antagônicos da NBR 15.575-4 para a NBR 15.220-3.

Interessante observar que os GhDT por calor seguem a classificação de CO exposta nas TAB. 42 e 43 (de 5NO a 4SO), porém a diferença máxima entre os GhDT das normas por calor (9859 graus-horas, PE2,50 8LN) não se associa com a CO de maior GhDT (5NO). Em vez disso, a diferença máxima entre as normas se associa com a CO de maiores QHDT absolutos (8LN) e com a segunda PE de maior DTc. Isso revela que, ainda que os valores absolutos sejam maiores em 5NO e em PE2 (2,32), existe um crescimento maior de uma absorvância para outra em 8LN do que em 5NO e de PE2,50 em relação a PE2 (2,32), como pode ser visto como linhas mais inclinadas nos GRÁF. 7 e 5.

Além disso, as diferenças entre normas de QHDT por calor é maior para a combinação de menor GhDT e menor para a de maior GhDT por calor – isto é, é inversamente proporcional a GhDT. A inversão, no entanto, é parcial porque, assim como na diferença de GhDT por calor, a diferença de QHDT por calor entre as normas depende do crescimento de cada absorvância para a sua adjacente – o que varia de forma não linear entre as combinações. Ainda assim, essa situação revela que há uma tendência de se aumentar o crescimento entre

absortâncias adjacentes conforme diminuição dos GhDT por combinação de orientação: quanto menor os GhDT absolutos, maior a diferença entre normas de QHDT por calor e maior a inclinação das linhas de cada gráfico por CO. Por isso, a diferença de QHDT por calor de 4SO (melhor DTc por calor) é cerca de quatro vezes maior que a de 5NO (pior DTc por calor).

Já as diferenças entre as normas de GhDT e de QHDT por frio possuem comportamentos distintos (TAB. 43), considerando a classificação das combinações por GhDT por calor. Essas não foram aprofundadas por o foco ser o desconforto por calor, visto que o desconforto por frio entre as combinações se mostra pouco variável.

Assim, focando a análise no DTc (TAB. 42), verifica-se que, mesmo as PE possuindo GhDT absoluto por calor de cada norma menor conforme o U é maior e GhDT menores na ordem de exposição das CO, as diferenças entre os GhDT por calor da NBR 15.575-4 e da NBR 15.220-3 seguem lógica independente (TAB. 42). Como é uma diferença e como o aumento de desconforto é praticamente constante por absortância/ cor, o valor da diferença entre as normas tem relação com as α máx permitidas por PE/ U para cada norma.

As PE 2 (2,32) e 2,50 possuem diferenças por CO maior por existir um intervalo maior entre os α máx (NBR 15:220-3: 0,40; NBR 15.575-4: 1,00); a PE1 (2,68), um intervalo menor (0,40 e 0,60 respectivamente); e PE 3,70, intervalo médio (0,30 e 0,60 respectivamente). Assim, a diferença entre os α máx das normas é de: PE 2 (2,32) 0,60; PE2,50 0,60; PE1 (2,68) 0,20; e PE3,70 0,30.

Com isso, explica-se o fato de ter diferenças de GhDT entre normas de PE e CO melhores com o valor maior do que de PE e CO com piores GhDT por calor. Como exemplo, tem-se a PE3,70 (melhor GhDT entre as PE) de 7SL (3º melhor GhDT entre as CO) com diferença entre as normas de 3905 contra 3167 graus-horas de PE1 (2,68) 5NO (pontilhado em destaque na TAB. 45). Isto é, esta apresenta uma diferença de GhDT menor do que aquela, mesmo sendo uma PE e CO de pior GhDT absoluto por calor em função dos intervalos de absortância de uma PE para outra. Os α máx das normas são tão diferentes e variam tanto entre as PE que gera esse tipo de situação.

Essa disparidade acontece principalmente pelo aumento da admissibilidade que o critério 2 da NBR 15.575-4 possibilita em relação à NBR 15.220-3 ao aumentar o α máx para paredes externas com $U \leq 2,50 \text{ W/m}^2\text{.K}$. Esse aumento relativo de admissibilidade, permitindo mais que o dobro de α para um mesmo U, gera cenários normativos muito destoantes (como em PE2 (2,32) e PE 2,50 com α máx 0,40 pela NBR 15.220-3 e 1,00 pela NBR 15.575-4) – o que impacta proporcionalmente em um maior DTc expressivamente maior para NBR 15.575-4 em relação à NBR 15.220-3 para $U \leq 2,50 \text{ W/m}^2\text{.K}$. Em termos de cor, isso representa que a NBR 15.575-4 permite que todas as paredes externas sejam de qualquer cor (inclusive pretas)

enquanto a NBR 15.220-3 admite no máximo que as paredes externas sejam laranjas para as PE trabalhadas.

Já em relação às outras PE, essa disparidade acontece em razão de os parâmetros do critério 1 da NBR 15.575-4 também permitirem uma admissibilidade maior do que os da NBR 15.220-3 para $2,50 < U \leq 3,70 \text{ W/m}^2\text{.K}$. Porém, a diferença de GhDT não é tão grande em PE1 (2,68) e PE3,70 em relação às outras duas PE por a diferença de α máx do critério 1 da NBR 15.575-4 com o da NBR 15.220-3 ser menor que o do critério 2 da NBR 15.575-4 com o da NBR 15.220-3. Associando as PE desse intervalo de U com cor, tem-se uma equivalência de vinho (α máx 0,60) para laranja (α máx 0,40) na PE1 (2,68); e de vinho (α máx 0,60) para amarelo (α máx 0,30) na PE3,70 respectivamente da NBR 15.575-4 para a NBR 15.220-3. Nota-se que na PE3,70 essa diferença aumenta por o α máx da NBR 15.220-3 diminuir para U maiores, sendo que α máx das demais PE é o mesmo por estas terem valores de U aproximados (2,32, 2,50 e 2,68 $\text{W/m}^2\text{.K}$).

No que tange a essas PE de U aproximados, PE2 (2,32), PE2,50 e PE1(2,68), nota-se que a diferença entre transmitância térmica de uma para outra é a mesma: $0,18 \text{ W/m}^2\text{.K}$. Em termos valores absolutos, esses U aproximados conferem a essas PE DTc por α relativamente próximos e proporcionais (como visualizado nos GRÁF. 5 a 20). No entanto, em função desse aumento de admissibilidade de α para um mesmo U da NBR 15.220-3 para NBR 15.575-4 e principalmente do critério 1 para o critério 2 da NBR 15.575-4, as diferenças de DTc de uma norma para outra de uma mesma PE variam bastante como em destaque na TAB. 44 (recorte da TAB. 42) para as CO de pior e melhor GhDT/ DTc real e entre elas.

Tabela 44 – Diferença GhDT e QHDT entre as normas de desempenho para os melhores e piores DTc

	PE	≠ entre NBR 15.575-4 e 15.220-3		≠ entre NBR 15.575-4 e 15.220-3 entre pior e melhor DTc
		5NO (pior DTc)	4SO (melhor DTc)	
GhDT máx	2 (2,32)	9351	6335	3016
	2,50	9500	6447	3053
	1 (2,68)	3167	2126	1041
	3,70	4914	3273	1641
QHDT máx	2 (2,32)	319	453	-134
	2,50	325	480	-155
	1 (2,68)	111	193	-82
	3,70	225	370	-145

Nota: PE2 (2,32): α máx NBR 15.220-3 = 0,40; α máx NBR 15.575-4 = 1,00;

PE2,50: α máx NBR 15.220-3 = 0,40; α máx NBR 15.575-4 = 1,00;

PE1 (2,68): α máx NBR 15.220-3 = 0,40; α máx NBR 15.575-4 = 0,60;

PE3,70: α máx NBR 15.220-3 = 0,30; α máx NBR 15.575-4 = 0,60.

Fonte: A autora, 2019.

Tendo como foco de análise os GhDT, que expressam os índices de conforto mais condizentes com a realidade, evidencia-se na TAB. 44 como o aumento da admissibilidade

de α no critério 2 para $U \leq 2,50$ impacta nos resultados de conforto relativo entre as normas analisadas. A PE com $U 0,18 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ menor que a PE2,50 (ou seja, PE2 (2,32)) possui GhDT similar a PE 2,50 e GhDT cerca de três vezes maior que a PE $U 0,18 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ maior que a PE2,50 (ou seja, PE1 (2,68)) quando analisado os GhDT do pior e melhor cenário de DTc. O mesmo também ocorre na diferença entre os GhDT das CO mais extremas, revelando um impacto que pode variar de 1641 a 3053 de uma CO para outra respeitando os parâmetros das normas de desempenho. Além disso, essa tabela exemplifica a lógica da diferença dos GhDT de alto, alto, baixo e intermediário para PE em ordem de apresentação em função dos intervalos de absorvância.

Como supracitado, toda essa discrepância apresentada da TAB. 44 entre os GhDT da NBR 15.575-4 para a NBR 15.220-3 para as situações mais e menos críticas em termos de DTc vêm de números absolutos de GhDT, os quais podem ser vistos na TAB. 45 (com destaque para as PE de U aproximados). Além disso, a TAB. 45 apresenta as diferenças entre as CO de melhor e pior DTc para uma mesma norma.

Tabela 45 – GhDT e QHDT para os melhores e piores DTc por norma de desempenho

	PE	NBR 15.575-4			NBR 15.220-3		
		5NO	4SO	≠	5NO	4SO	≠
GhDT máx	2 (2,32)	29913	14370	15543	20562	8034	12528
	2,50	29177	14144	15033	19678	7697	11981
	1 (2,68)	22128	9970	12158	18962	7844	11118
	3,70	18367	8930	9437	13453	5657	7796
QHDT máx	2 (2,32)	3297	2788	509	2978	2335	643
	2,50	3236	2754	482	2911	2274	637
	1 (2,68)	2957	2387	570	2846	2194	652
	3,70	2706	2195	511	2481	1825	656

Nota: PE2 (2,32): α máx NBR 15.220-3 = 0,40; α máx NBR 15.575-4 = 1,00;

PE2,50: α máx NBR 15.220-3 = 0,40; α máx NBR 15.575-4 = 1,00;

PE1 (2,68): α máx NBR 15.220-3 = 0,40; α máx NBR 15.575-4 = 0,60;

PE3,70: α máx NBR 15.220-3 = 0,30; α máx NBR 15.575-4 = 0,60.

Fonte: A autora, 2019.

A princípio observa-se que a TAB. 44 traz os valores da diferença entre normas para uma mesma CO, relevando o impacto de se atender a uma norma em vez de à outra, assim como a diferença entre essas diferenças, mostrando o impacto de se variar de CO respeitando essas normativas. Já a TAB. 45 traz os valores absolutos de GhDT e QHDT de cada situação mais extrema de DTc por CO, mostrando o impacto de DTc de cada norma; bem como expõe as diferenças de GhDT e QHDT entre a pior e melhor CO de uma mesma norma, mostrando o impacto de se variar de CO respeitando uma mesma norma.

Pelo exposto na TAB. 45, ratifica-se que os valores absolutos de DTc da NBR 15.575-4 são todos piores entre as situações mais extremas de CO em relação aos resultados da NBR 15.220-3, porém a diferença de QHDT da NBR 15.220-3 de 5NO para 4SO é maior do que a da NBR 15.575-4.

Visualiza-se o quanto cada norma é incompatível com os índices de conforto para as situações mais extremas de CO, variando de 29.913 graus-horas de desconforto por 3297 horas da situação mais crítica por calor (PE2 (2,32), 5NO, NBR 15.575-4) para 8034 graus-horas por 1825 horas para a menos crítica (PE3,70, 4SO, NBR 15.22-3). Uma diferença na escala de 3,72 vezes menor em termos de intensidade; e 1,81 vezes menor em horas.

Considerando uma mesma norma, o DTc pode variar da melhor para pior PE cerca de: a) 11000 graus-horas e 600 horas para 5NO (pior DTc) e 5000 graus-horas também com 600 horas para 4SO (melhor DTc) na NBR 15.575-4; e b) 7000 graus-horas e 500 horas para 5NO e 2000 graus-horas e praticamente sem diferença horária para 4SO na NBR 15.220-3. Assim, mudar de uma PE para outra tem um impacto considerável da CO mais para a menos crítica termicamente. Essa análise também revela que o impacto em quantidade de horas entre as PE da NBR 15.575-4 da pior para melhor CO praticamente se mantém constante, sendo que na NBR 15.220-3 essa diferença é por volta de 500 horas. Já para uma mesma CO, percebe-se uma redução de aproximadamente metade de GhDT entre as PE de uma NBR para outra.

Além disso, é possível perceber a diferença em números absolutos entre as PE de U aproximados em destaque na TAB. 45. Nos GhDT e QHDT da NBR 15.575-4 se nota a proximidade nos valores de PE2 (2,32) e PE2,50 e a disparidade entre PE2,50 e PE1 (2,68), ainda que a diferença entre U dessas duas situações seja a mesma. E os valores de PE3,70 são próximos da PE1 (2,68). Já para a NBR 15.220-3, os valores são aproximados entre essas três paredes e apenas de PE3,70 é significativamente menor. Assim, evidencia-se a influência do α máx de cada norma por PE – na 15.575-4, as duas primeiras PE possuem α máx muito maior de 1,00 do que o das duas últimas de 0,60; e na 15.220-3, as três primeiras possuem α máx um pouco maior que a quarta PE de 0,40 contra 0,30.

Considerando a frequência de desconforto térmico expressa em quantidade de horas da TAB. 45, apresentam-se na TAB. 46 os graus-horas/ hora de desconforto médios e a quantidade de dias respectivo que os GhDT e QHDT máx das CO mais extremas em termos de DTc da NBR 15.575-4 e da NBR 15.220-3 representam se os graus-horas fossem distribuídos igualmente por hora.

Tabela 46 – \neq graus-horas/ hora de desconforto médios entre as normas de desempenho para os melhores e piores DTc

PE	\neq graus-horas/ hora de desconforto médios							
	NBR 15.575-4				NBR 15.220-3			
	5NO	Quant. dias	4SO	Quant. dias	5NO	Quant. dias	4SO	Quant. dias
2 (2,32)	9,07	137,38	5,15	116,17	6,90	124,08	3,44	97,29
2,50	9,02	134,83	5,13	114,75	6,76	121,29	3,38	94,75
1 (2,68)	7,48	123,21	4,18	99,46	6,66	118,58	3,58	91,42
3,70	6,79	112,75	4,07	91,46	5,42	103,38	3,10	76,04

Nota: PE2 (2,32): α máx NBR 15.220-3 = 0,40; α máx NBR 15.575-4 = 1,00;

PE2,50: α máx NBR 15.220-3 = 0,40; α máx NBR 15.575-4 = 1,00;

PE1 (2,68): α máx NBR 15.220-3 = 0,40; α máx NBR 15.575-4 = 0,60;

PE3,70: α máx NBR 15.220-3 = 0,30; α máx NBR 15.575-4 = 0,60.

Fonte: A autora, 2019.

De acordo com a TAB. 46, verifica-se que as intensidades médias por hora de desconforto entre as PE 2 (2,32) e 2,50 de 5NO na NBR 15.575-4 chegam a atingir um aumento de quase 1/3 além do máximo permitido para T.O. máx da ASHRAE 55 (2013) para edifícios com ocupação, visto que estas variam de 28,28 a 30,27°C. Como os dados analisados consideram um cenário sem ocupação de cujas T.O. máx foram subtraídas as quantidades de graus-horas relativas à ocupação (variável por hora), esse aumento pode ser considerado de 1/3 para essas PE. Só de se aumentar para U maior que 2,50 com α máx menor, essa relação se reduz para cerca de 1/4 (PE1 (2,68) e PE3,70). Os graus-horas/ hora de desconforto médios de 5NO da NBR 15.220-3 são bem próximos aos da PE 3,70 de 5NO da NBR 15.575-4 com quantidade de dias também aproximados, que giram em torno de 4 meses de desconforto.

As intensidades médias de 4SO representam mais ou menos a metade das intensidades de 5NO, ambas da NBR 15.575-4. A diferença de 5NO NBR 15.575-4 para 4SO NBR 15.220-3 é por volta de 1/3. E de 5NO para 4SO da NBR 15.220-3 por volta da metade. Em quantidade de dias, há uma variação muito expressiva indo de aproximados 4,5 para 2,5 meses da PE da pior CO para a PE da melhor CO – respectivamente: PE2 (2,32) 5NO NBR 15.575-4 e PE3,70 4SO NBR 15.220-3.

Assim, o DTc pode variar do cenário mais crítico termicamente para o menos crítico de 9,07 graus-horas por hora de desconforto em 137,38 dias para 3,10 graus-horas por hora de desconforto em 76,04 dias. Ou seja, a diferença máxima de se atender a uma norma ou a outra pode chegar a 5,97 graus-horas por hora de desconforto em 61,33 dias – ¼ a mais de T.O. horária acima do permitido durante aproximadamente dois meses no ano. Compila-se assim como a escolha de PE, de CO e de atendimento às normas de desempenho podem impactar no conforto térmico adaptativo do ambiente.

4.5 Contribuição para Vitória: identificação das horas por mês de DT da parede típica da cidade

Na TAB. 47 (compilação com fonte dos dados no Apêndice D12) são expostos os intervalos de horas por mês com os respectivos graus-horas de desconforto térmico (QHDT e GhDT respectivamente) por frio e por calor dos cenários com e sem ocupação da edificação para Vitória de 1ON. Essas horas de cada mês da CO 1ON representam as horas em que o ambiente analisado precisa acumular mais calor (DTf) e as que precisam receber menos calor (DTc). Em relação a estas, que são mais expressivas e intensas para Vitória, destaca-se que podem ser utilizadas como parâmetro para o dimensionamento dos dispositivos de sombreamento das aberturas conforme orientação solar das mesmas. Os dados expostos são referentes à PE 2,50 e $\alpha = 0,20$ por sua representatividade média frente aos cenários mais utilizados nas obras residenciais de Vitória. As tabelas equivalentes para as demais CO também abordam essa PE e estão disponíveis nos Apêndices D13 a D19.

Tabela 47 - 1ON Horários de desconforto por mês Vitória

MÊS	DESCONFORTO TÉRMICO									
	POR FRIO					POR CALOR				
	HORAS	SEM USO		COM USO ¹		HORAS	SEM USO		COM USO ¹	
		GhDT	QUANT. DIAS	GhDT	QUANT. DIAS		GhDT	QUANT. DIAS	GhDT	QUANT. DIAS
Janeiro	01:00	1,80	4	1,74	4	09:00	16,55	14	17,54	14
	02:00	1,46	2	1,44	2	10:00	60,01	25	61,90	25
	03:00	1,38	2	1,37	2	11:00	104,35	26	107,05	26
	04:00	1,42	2	1,42	2	12:00	134,85	26	137,93	26
	05:00	1,44	2	1,43	2	13:00	173,31	27	177,16	27
	06:00	1,17	2	1,17	2	14:00	243,71	27	248,37	27
	07:00	0,77	1	0,76	1	15:00	280,64	27	286,26	28
	08:00	0,36	1	0,36	1	16:00	245,30	25	250,76	26
	23:00	0,84	1	0,80	1	17:00	154,40	25	163,04	25
	00:00	1,36	2	1,32	2	18:00	59,55	23	71,79	25
						19:00	19,17	18	26,41	23
						20:00	6,63	9	8,87	11
						21:00	3,84	6	4,85	7
Fevereiro	01:00	5,42	7	5,20	7	09:00	0,22	1	0,24	2
	02:00	7,32	10	7,12	9	10:00	26,04	21	27,35	21
	03:00	9,27	12	9,08	12	11:00	66,68	24	69,27	24
	04:00	10,69	13	10,55	13	12:00	92,23	25	95,63	25
	05:00	12,32	14	12,23	13	13:00	129,82	26	133,65	26
	06:00	13,76	16	13,67	16	14:00	206,05	26	210,74	26
	07:00	5,69	6	5,64	6	15:00	248,59	25	253,65	26
	08:00	0,82	1	0,82	1	16:00	231,21	25	236,35	25
	22:00	0,20	1	0,12	1	17:00	154,44	25	160,17	25

	23:00	0,77	2	0,69	1	18:00	60,84	22	69,03	23
	00:00	3,62	5	3,41	5	19:00	11,43	17	17,31	19
						20:00	1,49	1	2,01	5
Março	02:00	0,01	1	0,00	0	09:00	2,21	5	2,46	5
	03:00	0,80	4	0,74	4	10:00	54,88	29	55,88	30
	04:00	2,71	9	2,61	9	11:00	125,19	31	127,15	31
	05:00	6,24	13	6,15	13	12:00	179,04	31	182,58	31
	06:00	9,83	17	9,74	17	13:00	242,28	31	247,37	31
	07:00	2,27	9	2,21	9	14:00	349,39	31	356,07	31
						15:00	402,86	31	410,53	31
						16:00	363,47	31	370,93	31
						17:00	237,52	31	243,84	31
						18:00	105,85	31	114,92	31
						19:00	30,43	29	38,66	31
						20:00	6,57	15	10,20	21
						21:00	1,29	7	2,28	7
						22:00	0,00	0	0,15	3
Abril	01:00	4,89	8	4,73	7	09:00	1,16	2	1,27	2
	02:00	7,57	12	7,36	12	10:00	20,13	17	20,82	17
	03:00	10,97	14	10,80	14	11:00	75,78	27	78,74	27
	04:00	13,76	14	13,65	14	12:00	119,00	29	124,23	29
	05:00	15,78	16	15,68	16	13:00	165,76	29	172,57	29
	06:00	18,49	17	18,42	17	14:00	219,64	28	227,78	28
	07:00	13,37	16	13,29	16	15:00	237,03	28	245,49	28
	08:00	1,86	2	1,86	2	16:00	198,66	28	206,57	28
	09:00	0,84	1	0,84	1	17:00	113,94	28	120,52	28
	23:00	0,05	1	0,01	1	18:00	43,28	24	49,22	25
	00:00	2,17	2	2,11	2	19:00	8,78	11	11,83	14
						20:00	2,59	5	3,80	7
						21:00	0,72	1	0,90	2
Maio	01:00	32,06	21	31,65	20	10:00	0,88	2	0,90	2
	02:00	40,76	23	40,44	23	11:00	31,80	19	33,56	19
	03:00	48,86	26	48,61	26	12:00	76,80	27	80,39	27
	04:00	57,08	28	56,89	28	13:00	128,21	28	133,42	28
	05:00	62,61	28	62,48	28	14:00	181,54	28	187,99	28
	06:00	66,84	30	66,75	30	15:00	188,73	28	195,27	28
	07:00	61,09	30	60,99	30	16:00	142,15	27	147,96	27
	08:00	24,10	19	23,99	19	17:00	67,69	24	71,75	24
	09:00	1,50	3	1,37	3	18:00	23,23	16	25,37	17
	16:00	0,88	1	0,87	1	19:00	3,72	6	4,63	7
	17:00	2,31	1	2,31	1	20:00	0,82	2	1,12	3
	18:00	0,91	1	0,89	1	21:00	0,00	0	0,07	1
	21:00	0,04	1	0,00	0					
	22:00	2,45	3	2,27	3					
	23:00	10,19	8	9,87	8					

	00:00	24,61	16	24,16	16					
Junho	01:00	46,56	23	46,12	23	11:00	14,00	15	15,59	17
	02:00	57,73	27	57,38	27	12:00	64,27	25	67,23	25
	03:00	68,83	28	68,57	28	13:00	118,92	29	123,63	29
	04:00	77,80	28	77,63	28	14:00	171,28	28	176,97	28
	05:00	84,46	28	84,34	28	15:00	178,34	28	184,21	28
	06:00	90,56	28	90,48	28	16:00	137,19	28	142,67	28
	07:00	90,06	28	89,99	28	17:00	66,73	25	69,86	25
	08:00	55,57	28	55,48	28	18:00	19,55	20	21,78	20
	09:00	6,00	9	6,14	8	19:00	2,02	4	2,51	5
	10:00	0,22	1	0,20	1	20:00	0,15	1	0,24	1
	22:00	2,76	4	2,59	4					
	23:00	9,52	8	9,21	8					
	00:00	32,28	20	31,71	20					
Julho	01:00	25,03	17	24,62	17	10:00	0,95	3	1,29	4
	02:00	33,53	20	33,20	20	11:00	20,41	13	21,79	14
	03:00	42,15	20	41,92	20	12:00	59,92	22	63,23	22
	04:00	48,13	21	47,97	21	13:00	101,68	25	106,35	25
	05:00	52,78	23	52,65	23	14:00	150,15	27	156,13	28
	06:00	57,30	25	57,21	25	15:00	158,55	27	164,47	27
	07:00	57,17	24	57,10	24	16:00	119,83	24	125,10	24
	08:00	33,19	19	33,17	19	17:00	54,97	20	58,07	21
	09:00	4,51	3	4,36	3	18:00	18,09	15	20,28	15
	10:00	0,03	1	0,00	0	19:00	2,31	5	3,20	6
	21:00	1,67	2	1,40	2	20:00	0,21	1	0,43	2
	22:00	5,28	2	5,10	2					
	23:00	9,30	4	9,07	4					
	00:00	18,20	11	17,80	11					
Agosto	01:00	60,40	25	59,75	25	10:00	0,98	1	1,05	1
	02:00	70,27	25	69,82	25	11:00	14,85	13	15,40	14
	03:00	77,64	26	77,32	26	12:00	55,94	25	58,96	25
	04:00	83,58	27	83,35	27	13:00	109,51	28	114,06	28
	05:00	87,58	27	87,42	27	14:00	168,05	28	173,67	28
	06:00	89,25	27	89,13	27	15:00	182,75	27	188,01	27
	07:00	81,91	27	81,79	27	16:00	141,87	26	146,91	26
	08:00	45,21	23	45,18	23	17:00	58,39	26	63,05	26
	09:00	8,79	7	8,76	7	18:00	7,66	10	9,86	10
	10:00	1,32	2	1,32	2	19:00	0,00	0	0,06	1
	11:00	0,16	1	0,16	1					
	12:00	0,10	1	0,10	1					
	13:00	0,06	1	0,06	1					
	21:00	1,24	1	1,10	1					
	22:00	4,43	3	4,20	3					
	23:00	18,48	14	17,71	14					
	00:00	42,29	22	41,48	21					

Setembro	01:00	42,87	21	42,23	21	10:00	1,50	5	2,14	5
	02:00	50,77	23	50,29	23	11:00	22,58	16	24,67	18
	03:00	57,77	25	57,41	25	12:00	56,21	22	60,33	22
	04:00	63,39	27	63,12	27	13:00	108,88	23	114,51	23
	05:00	67,31	27	67,12	27	14:00	178,75	27	186,41	27
	06:00	70,23	28	70,10	28	15:00	198,40	25	206,75	25
	07:00	53,16	27	53,00	27	16:00	156,76	25	165,04	25
	08:00	10,03	18	9,79	18	17:00	73,15	22	80,47	24
	09:00	0,11	1	0,11	1	18:00	11,45	16	16,89	19
	17:00	0,96	1	0,96	1	19:00	0,35	1	0,73	1
	22:00	1,90	2	1,71	2	20:00	0,00	0	0,23	1
	23:00	8,66	9	8,08	9					
	00:00	32,24	19	31,41	19					
Outubro	01:00	6,62	6	6,49	6	09:00	10,61	10	10,46	10
	02:00	7,93	7	7,82	7	10:00	50,81	21	51,82	21
	03:00	9,81	9	9,70	9	11:00	91,93	26	94,40	26
	04:00	12,58	13	12,47	13	12:00	124,81	26	128,12	26
	05:00	15,53	12	15,46	12	13:00	173,20	26	177,12	26
	06:00	14,42	11	14,37	11	14:00	222,88	25	227,09	25
	07:00	6,77	6	6,74	6	15:00	221,11	24	225,59	24
	08:00	2,66	4	2,61	4	16:00	170,50	25	174,99	25
	09:00	0,92	2	0,91	2	17:00	96,63	25	101,62	25
	10:00	0,36	1	0,36	1	18:00	33,69	20	40,64	23
	22:00	1,99	3	1,83	3	19:00	8,39	10	11,38	13
	23:00	3,35	5	3,19	4	20:00	4,11	6	5,04	6
	00:00	4,24	5	4,12	5	21:00	2,07	5	2,55	5
Novembro	01:00	0,53	1	0,52	1	08:00	0,13	1	0,14	1
	02:00	0,64	1	0,63	1	09:00	32,10	25	33,33	25
	03:00	0,83	1	0,82	1	10:00	88,99	28	91,26	28
	04:00	0,90	1	0,90	1	11:00	139,47	30	142,70	30
	05:00	1,09	3	1,08	3	12:00	178,30	30	181,85	30
	06:00	0,58	1	0,58	1	13:00	254,32	30	258,64	30
						14:00	345,38	29	351,02	29
						15:00	369,73	29	376,59	29
						16:00	318,08	28	325,07	28
						17:00	204,33	28	215,15	28
						18:00	77,61	28	93,41	28
						19:00	22,06	27	32,48	27
						20:00	5,74	10	8,71	16
						21:00	3,14	7	4,34	9
Dezembro	01:00	0,32	1	0,31	1	08:00	0,95	2	1,13	3
	02:00	0,62	2	0,60	2	09:00	31,39	24	32,67	24
	03:00	0,79	2	0,77	2	10:00	86,54	28	89,24	28
	04:00	0,94	2	0,92	2	11:00	140,91	30	144,44	30
	05:00	1,62	3	1,60	3	12:00	180,66	30	184,78	30

	06:00	1,19	3	1,18	3	13:00	232,54	30	237,35	30
	07:00	0,98	1	0,98	1	14:00	309,10	30	315,18	30
	08:00	1,22	1	1,22	1	15:00	342,20	29	349,43	29
	09:00	1,08	1	1,08	1	16:00	286,23	28	293,80	28
	10:00	0,62	1	0,62	1	17:00	180,48	28	190,66	28
	11:00	0,04	1	0,03	1	18:00	76,88	26	89,54	26
	00:00	0,19	1	0,18	1	19:00	28,44	21	36,58	23
						20:00	9,25	11	11,89	11
						21:00	5,10	7	6,35	8
						22:00	0,00	0	0,08	1

Fonte: A autora, 2019.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta dissertação se delineou na verificação da compatibilidade entre os critérios de desempenho térmico da NBR 15.575-4 e índices de conforto térmico de ambientes naturalmente ventilados, frente à admissibilidade dessa normativa de que todas as paredes externas de edificações residenciais tenham absorvância de 100% (cores pretas) na Zona Bioclimática 8 (ZB8) – que representa mais de 50% do território e abrange as cidades com climas mais quentes do país. Para isso, teve-se como referência os parâmetros da NBR 15.220-3 e os 80% de aceitabilidade de conforto térmico por parte dos usuários da ASHRAE 55.

Em termos de metodologia adotada, teve-se como desafio conciliar os cenários e referências de conforto dos dois objetos de estudo principais, visto que as normas de desempenho não consideram a ocupação e que esta é inerente às condições ideais de conforto térmico. Com isso, elaborou-se um método no qual fosse possível identificar as parcelas de temperaturas operativas horárias (T.O.h - dados de saída das simulações) referentes especificamente à ocupação. Para isso, foi preciso fazer as simulações de todos os cenários escolhidos duas vezes: uma sem ocupação e outra com ocupação. Um limitante encontrado foi que os valores de ocupação de uma mesma parede externa (PE) variavam para cada situação – tanto de um absorvâncias solares (α) diferentes de uma mesma hora quanto de horas diferentes de um mesmo α . Diante disso, as T.O.h mínima e máxima de conforto encontradas para os cenários sem ocupação foram obtidas considerando uma média no que concerne às parcelas relativas à ocupação entre todos os α de uma mesma PE de determinada hora.

Outros entraves apresentados da pesquisa se referem a limitações e erros do programa *DesignBuilder* (DB) no que concerne à inserção de dados de entrada dos elementos construtivos e ao U calculado. Durante o processo aconteceram vários erros de U não compatíveis com o cálculo de U feito na pesquisa com base nas instruções da NBR 15.220-2 e de T.O.h resultantes que não variavam com a mudança de α . Após vários testes, detectou-se que os dados dos elementos construtivos no DB precisam ser inseridos por resistência térmica e com camadas externas (no caso, representando as tintas), sendo que estas precisam ser inseridas por propriedades térmicas.

Além disso, detectou-se que o DB desconsidera o valor inserido de resistências térmicas superficiais (R_s); e considera a R_s externa de elementos internos como se estes fossem externos bem como considera valores de R_s diferentes dos adotados pela NBR 15.220-2 no cálculo de U de elementos horizontais. Para esses casos, foi feito um ajuste de U que o próprio programa dá como opção. Nesse sentido, destaca-se a importância tanto do domínio do conhecimento acerca das variáveis envolvidas em um programa de simulação quanto da conferência dos dados utilizados, pois todos os *softwares* apresentam erros – que muitas

vezes são ajustáveis, mas para isso precisam ser identificados. Além disso, nesse caso os erros podem advir de diferenças entre os referenciais de cálculo de U, considerando se trata de normas nacionais e que o país de origem do DB não é o Brasil.

O objetivo geral preliminar era identificar os intervalos em que os cenários utilizando as propriedades térmicas da NBR 15.575-4 analisadas, transmitância térmica (U) e absorptância solar (α), fossem compatíveis com os índices de conforto térmico considerando as condicionantes climáticas de Vitória. No entanto, nenhum cenário apresentou Frequência de Desconforto Térmico (FDT) = 0% - revelando que, para se obter condições ambientais de conforto térmico, a utilização isolada dos parâmetros pontuados pela NBR 15.575-4 são insuficientes. Em função desses resultados, o objetivo geral foi adaptado para avaliação dessas não conformidades. Salienta-se nesse aspecto que os resultados das simulações revelaram aparentes inconsistências entre os comportamentos térmico ambientais conforme a orientação e conforme diretrizes da NBR 15.575-1 assim como os resultados de desconforto por calor e por frio de FDT foram tão incompatíveis com a realidade local e com os valores de Graus-horas de Desconforto Térmico (GHDT) que foi preciso acrescentar algumas etapas metodológicas de ratificação e compreensão dos resultados antes da análise detalhada dos mesmos perante os parâmetros máximos das NBR 15.575-4 e 15.220-3.

Quanto ao uso isolado de parâmetros da NBR 15.575-4 ser insuficiente para obtenção de condições de conforto, associa-se à simplificação dessa norma de trazer apenas critérios dos componentes obrigatórios de composição de uma edificação, ignorando as diretrizes construtivas advindas das zonas bioclimáticas da Carta de Givoni. Nesse sentido, destaca-se principalmente a necessidade de sombreamento constante das aberturas e a necessidade de ventilação cruzada permanente. Com base nisso, indica-se a continuidade do estudo, testando os cenários considerando essas estratégias de condicionamento térmico passivo, a fim de se conseguir obter os intervalos das propriedades térmicas que propiciem cenários com FDT = 0%. Dessa forma, entende-se como o foco da ineficácia dos parâmetros da NBR 15.575-4 em prover condições de conforto a sua preterição das diretrizes bioclimáticas – bases para cenários que considerem o conforto e arquitetura adaptativos.

Ressalva-se que a estratégia de desumidificação foi ignorada em função de Vitória ser uma cidade úmida (assim como sua ZB) – inconsistência que se alude à base dos estudos de Givoni para locais secos (como Israel). No entanto, também podem ser feitos estudos focando em cenários com e sem estratégias de desumidificação para verificar essas inferências supracitadas acerca dessa estratégia.

De acordo com o desencadeamento da pesquisa, traçou-se uma nova contribuição para as edificações residenciais de Vitória, considerando as estratégias bioclimáticas recomendadas.

Com isso, foram compilados os intervalos de horas por mês e por combinação de orientações (CO - ambientes com duas fachadas para o exterior) com suas respectivas intensidade e quantidade de dias por calor e por frio para Vitória. O intuito principal de elaboração desse resultado foi de prover um referencial horário de acordo com o mês do ano para aplicação das estratégias bioclimáticas e se a mesma deve ser para frio ou calor – servindo como base para dimensionamento dos dispositivos de sombreamento recomendados para Vitória/ ZB8 pela NBR 15.220-3, uma vez que muitas vezes os mesmos são definidos apenas com critérios subjetivos ou com critérios objetivos que não consideram todas as variáveis climáticas de um arquivo climático.

Em relação aos resultados alcançados, na análise inicial de comparação dos critérios de α e U da ZB8 das NBR's 15.220-3 e 15.575-4, constatou-se que ambas aceitam todo o espectro de cor para as PE (α de 0 a 100%). Além disso, o conjunto de critérios apresentado na NBR 15.575-4 identificado nesta pesquisa como “critérios 2” ($\alpha > 0,60$) não se difere da NBR 15.220-3 em termos de admissibilidade de α , mas apenas de valor de $U_{máx}$ associado à α / cor. Assim, o critério 2 pôde ser entendido como um novo agrupamento de $U_{máx}$ para a NBR 15.575-4 com as α maiores (cores mais escuras) – em contraponto com os U da NBR 15.220-3 que são específicos para cada α / cor e que respeitam um fator solar máximo por ZB.

Observa-se que a similaridade em admissibilidade de α em função de U entre as normas é parcial, pois se limita à α de 0,28. Com o aumento do α , a NBR 15.575-4 fica mais permissiva que a NBR 15.220-3 por aceitar cores mais escuras para um mesmo U – o que também reflete em U maiores (paredes menos resistentes ao fluxo de calor) para a mesma α / cor. Percebe-se com esse contexto que a problemática de admissibilidade de PE pretas para cidades de climas quentes não se restringe à NBR 15.575-4, porém é mais crítica nessa por ser permitida para mais opções de PE.

Como compilação de parede interna (PI)¹⁴ mais utilizada recentemente em Vitória, tem-se o bloco de concreto de 14 x 19 x 39 cm (2 furos), com sentido de assentamento vertical dos blocos; espessura de argamassa entre blocos de 1 cm horizontal e junta seca vertical; espessura de reboco tradicional de 1,5 cm; com acabamento de tinta acrílica fosca branca; não sendo parede dupla, nem tendo alguma outra camada interna extra de composição. Essa PI também representa a PE mais utilizada, sendo a segunda PE de bloco cerâmico de 11,5 x 19 x 19 cm (6 furos). Essas duas PE possuem as demais características da PI, com as ressalvas de terem o reboco externo de 3 cm, a textura como material predominante de acabamento da face externa e espessura de argamassa vertical entre blocos de 1 cm em vez

¹⁴ Paredes entre unidades autônomas e paredes internas à unidade autônoma.

de junta seca. Em relação ao procedimento para obtenção dos dados das paredes junto às obras e construtoras levantadas, a estratégia de se priorizar a aplicação dos questionários em forma de entrevista por telefone foi fundamental para a eficácia de retorno dos resultados.

Os FDT do ambiente simulado demonstraram não adequação dos critérios de desempenho térmico das normas brasileiras com as T.O.h mínima e máxima encontradas para os cenários sem ocupação, baseadas no percentual de 80% de aceitabilidade de conforto adaptativo da ASHRAE 55, uma vez que todas as associações de α com U dos cenários simulados sem ocupação resultaram em percentuais de desconforto térmico por calor e por frio. Além disso, ressalta-se que os FDT por calor e por frio mascaram os desconfortos reais por considerarem qualquer hora que esteja até mesmo um pouco aquém ou além dos referenciais mínimo e máximo permitidos. Isso foi possível ser identificado visto que muitos valores de FDT eram análogos entre calor e frio, o que destoa da realidade local. Já analisando por GhDT, o desconforto por frio chega a ser desprezível e a diferença entre os desconfortos chega a cerca de sessenta vezes do calor para o frio. Assim, o GhDT se revelou como o índice de conforto utilizado mais condizente com a realidade local.

Os resultados das simulações referentes às CO foram verificados, possibilitando a classificação das mesmas conforme GhDT. Com isso, a ordem decrescente de GhDT das CO foi: 5NO, 8LN, 1ON (pior NBR 15.575-1), 3LS, 6OS, 7SL (melhor NBR 15.575-1), 2NLe 4SO¹⁵. Os resultados demonstraram que as CO indicadas pela NBR 15.575-1 possuem o terceiro lugar em ordem decrescente e crescente para a pior e melhor CO em relação aos resultados da CO. Além disso, nota-se que o fator determinante para a classificação das CO é a orientação de sua fachada cega, sendo a fachada de janela complementar L pior que O e S pior que N – ao contrário do esperado conforme os referenciais normativos.

Cada situação possui suas peculiaridades analisadas nesta dissertação, mas associa-se ao pior desempenho de L em relação a O (quando combinada com outra PE/ orientação) o atraso térmico do calor incidente da PE com janela orientada para L. Isso faz com que o calor seja mais sentido dentro do ambiente durante o turno da tarde no qual o ambiente também recebe a carga térmica adicional de sua outra PE, o que já não acontece com O por o atraso térmico fazer com que boa parte dessa energia seja sentida quando o sol já se pôs, amenizando o acúmulo de cargas térmicas. Já S teve desempenho pior que N para fachada cega L por os acúmulos térmicos se concentrarem no verão, como verificado nas análises de solstícios e equinócios.

¹⁵ Primeira letra da CO se refere à orientação da PE com a janela; e a segunda da PE cega.

Retomando a classificação das CO, excetua-se da mesma a CO 4SO que possui uma particularidade em relação à carta solar: suas orientações são opostas à predominância da trajetória solar, pois sua janela é para S (recebe incidência solar em poucos meses do ano) e sua fachada cega é para O (recebendo sol apenas depois de meio-dia sem ter carga térmica extra na maior parte do ano, sendo que pela inércia térmica a carga é sentida em horários que o sol já se pôs). Assim, salvo essa exceção que pela lógica seria a pior CO, tem-se a ordem das fachadas cegas da pior para a melhor: O, N, S e L. Destaca-se nessa discussão, a diferença que a verificação dos cenários por meio de simulações pôde prover no que tange à classificação das CO. Com isso se revela também a importância desses estudos principalmente por situações como 5NO e 4SO nas quais a definição da orientação da abertura para uma mesma fachada cega pode mudar as condições térmicas do ambiente da melhor para a pior em termos de calor.

Pelas análises dos solstícios e equinócios da conferência dos resultados das CO, pôde-se identificar um índice de conforto com uma importância ainda maior na consideração das condições térmicas do ambiente: Intensidade de Desconforto Térmico (IDT). Este representa a soma dos GhDT de um intervalo de tempo.

Em relação às análises das não-conformidades dos parâmetros térmicos com conforto, nota-se que o crescimento de GhDT por calor é variável de uma CO para outra, ainda que se seja relativamente constante entre as PE de uma mesma CO e entre α de uma mesma PE. Os U maiores demonstraram resultados melhores termicamente em relação ao calor. Logo, ao contrário do que indicam as normas de desempenho, ter resistência térmica maior não é uma boa estratégia bioclimática para Vitória/ ZB8. As diferenças de desconforto térmico por calor (DTc) de PE diferentes em uma mesma CO pode variar em mais de 10.000 graus-horas e em mais de 600 horas. Já de uma CO para outra de uma mesma PE em mais de 15.000 graus-horas e em mais de 500 horas.

Os resultados da NBR 15.575-4 foram menos compatíveis com os referenciais de conforto térmico do que os da NBR 15.220-3; e o critério 2, do que os do critério 1 tendo em vista o α máx permitido por cada conjunto de parâmetros. A diferença de se atender à NBR 15.575-4 em vez de à NBR 15.220-3 pode chegar a 5,97 graus-horas por hora de desconforto médios (cerca de $\frac{1}{4}$ a mais que o permitido) durante aproximadamente dois meses no ano em função do α máx de cada uma.

Percebe-se o impacto no aumento do GhDT máx das PE2 (2,32) e PE2,50 em relação às demais PE, em função da maior admissibilidade o critério 2 da NBR 15.575-4 (α máx = 1,00) em relação à NBR 15.220-3 (α máx calculado por U, que nesses casos se equivale a 0,40). Esse intervalo é um pouco maior em PE3,70 do que em PE1 (2,68) por o α máx da NBR

15.220-3 diminuir para U maiores (indo de 0,40 para 0,30), fazendo com que em termos de diferença de DTc entre normas PE1 (2,68) apresente os melhores resultados. No entanto, esse é um resultado relativo entre normas, pois os melhores DTc absolutos são da PE3,70.

Dessa forma, como os intervalos de α máx mudam expressivamente das PE com $U \leq 2,50$ W/m².K (critério 2 NBR 15.575-4) para as PE com $U > 2,50$ W/m².K, verifica-se também que mesmo as PE2 (2,32) tendo a mesma diferença de transmitância térmica (0,18 W/m².K) da PE1 (2,68) em relação à PE2,50, os resultados entre elas se diferenciam bastante de uma norma para outra, resultando em valores de PE2 (2,32) cerca de três vezes maior que de PE1 (2,68), enquanto que PE2 (2,32) e PE2,50 possuem valores muito próximos, visto a pequena diferença de U.

Assim, foi possível verificar a influência dos cenários com α máx em prover condições de conforto térmico adaptativo ambiental de uma norma de desempenho térmico para outra, assim como analisar variações do DTc com as mudanças de PE e de CO.

Ao final, foram apresentados os índices de desconforto por frio e por calor compilados por hora de cada mês da PE mais representativa de Vitória por CO a fim de fornecer uma referência horária para soluções de estratégias de conforto - como para dimensionamento de dispositivos de sombreamento de aberturas.

Em termos de relevância, este estudo pode ser considerado como uma referência acadêmica ao:

- Relacionar os parâmetros da NBR 15.575-4 com os da 15.220-3;
- Constatar a não adequabilidade dos parâmetros de desempenho da NBR 15.575-4 com os índices de conforto térmico para Vitória (ZB8);
- Prover procedimentos para encontrar T.O. de conforto para cenários sem ocupação;
- Verificar a não adequabilidade de FDT para analisar a representatividade de cada tipo de desconforto;
- Identificar e justificar CO x comportamentos térmicos ambientais distintos ao esperado/ recomendados pela NBR 15.575-4 (Leste x Oeste; Norte x Sul);
- Listar os critérios de classificação das CO conforme desconforto térmico por calor (DTc);
- Relacionar a pior e melhor CO da NBR 15.575-4 com as da simulação;
- Quantificar desconforto térmico de cada cenário em função da combinação de U x α por CO;
- Quantificar de diferença de DTc entre NBR 15.575-4 e 15.220-3;
- Prover a metodologia para encontrar as paredes externas (ou outros elementos construtivos) cujos intervalos propiciem cenários com FDT = 0% para outros estudos que contemplem as estratégias bioclimáticas recomendadas para ZB8 de acordo com as diretrizes da NBR 15.220-3. Dessa forma, serão obtidos os parâmetros de

desempenho térmico e consequentemente os referenciais para definição dos elementos construtivos que sejam capazes de propiciar condições de conforto térmico humano adaptativo.

Esta pesquisa também traz contribuições técnicas e práticas ao:

- Identificar as paredes externas e internas utilizadas recentemente em edificações residenciais em Vitória;
- Detectar limitações e soluções de inserção de dados dos elementos construtivos e de cálculo de U no programa DB;
- Classificar as CO conforme DTc;
- Fornecer subsídios técnicos dos valores adequados a serem utilizados no dimensionamento de dispositivos de sombreamento e em outras estratégias de condicionamento térmico passivo em seus projetos de estudantes e profissionais da área atuantes em Vitória.

Além disso, esta dissertação abrange a potencialidade de contribuição social ao prover os dados de desconforto por frio e por calor de Vitória, pois possibilita com isso o uso dessas referências nas construções para gerar bem-estar e melhoria da qualidade de vida dos usuários dessas edificações em decorrência da melhoria das condições de conforto térmico adaptativo nesses ambientes.

Em suma, com a mistura de referências dos requisitos normativos com exemplares de paredes existentes na definição da amostra, a pesquisa de cunho paramétrica também pode ser aplicável à realidade local, o que possibilitou contribuições de caráter técnico, prático, acadêmico e social por parte da pesquisa. De fato, edificações residenciais com todas as fachadas pretas em cidades de clima quente como Vitória não apresentam desempenho térmico adequado como levantado na problemática. No entanto, os intervalos de transmitância térmica e absortância solar de paredes externas que fossem capazes de prover conforto térmico satisfatório não foram encontrados considerando as diretrizes da NBR 15.575-4, pois todos os cenários apresentaram percentuais de desconforto térmico. Partindo-se do referencial criado por este estudo, recomenda-se a continuidade das pesquisas relacionadas considerando as estratégias bioclimáticas adicionais apresentadas pela NBR 15.220-3 a fim de se encontrar esses intervalos das propriedades térmicas dos elementos construtivos que estejam vinculados à aceitabilidade térmica dos ambientes pelos usuários, compensando essa lacuna normativa brasileira.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AKUTSU, M.; VITTORINO, F. Desempenho térmico de telhas de alumínio. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO (ENCAC); ENCONTRO LATINO-AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO (ELACAC), 5.; 2., 1999, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza, ANTAC, 1999.

AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS (ASHRAE). **ASHRAE fundamentals handbook**. Atlanta, 2001.

_____. **ASHRAE Standard 55**. Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy. Atlanta: ANSI, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 5.413**: Iluminância de interiores. 2. ed. Rio de Janeiro, 1992.

_____. **NBR 15.220**. [2018]. Disponível em: <<http://www.abntcatalogo.com.br/norma.aspx?ID=11>>. Acesso em: 02 fev. 2018.

_____. **NBR 15.220**: Desempenho térmico de edificações. Parte 1: Definições, símbolos e unidades. Rio de Janeiro, 2005a.

_____. **NBR 15.220**: Desempenho térmico de edificações. Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações. Rio de Janeiro, 2005b.

_____. **NBR 15.220**: Desempenho térmico de edificações. Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Rio de Janeiro, 2005c.

_____. **NBR 15.220**: Desempenho térmico de edificações. Parte 4: Medição da resistência térmica e da condutividade térmica pelo princípio da placa quente protegida. Rio de Janeiro, 2005d.

_____. **NBR 15.220**: Desempenho térmico de edificações. Parte 5: Medição da resistência térmica e da condutividade térmica pelo método fluximétrico. Rio de Janeiro, 2005e.

_____. **NBR 15.575-1**: Edifícios habitacionais – Desempenho. Parte 1: Requisitos gerais. Rio de Janeiro, 2013a.

_____. **NBR 15575-2**: Edifícios Habitacionais – Desempenho. Parte 2: Requisitos para os sistemas estruturais. Rio de Janeiro, 2013b.

_____. **NBR 15575-3**: Edifícios Habitacionais – Desempenho. Parte 3: Requisitos para os sistemas de pisos internos. Rio de Janeiro, 2013c.

_____. **NBR 15.575-4**: Edifícios habitacionais – Desempenho. Parte 4: sistemas de vedações verticais internas e externas. Rio de Janeiro, 2013d.

_____. **NBR 15.575-5**: Edifícios habitacionais – Desempenho. Parte 5: Requisitos para sistemas de coberturas. Rio de Janeiro, 2013e.

_____. **NBR 15.575-6**: Edifícios habitacionais – Desempenho. Parte 6: Sistemas hidrossanitários. Rio de Janeiro, 2013f.

_____. **NBR ISO/CIE 8.995-1**: Iluminação de ambientes de trabalho. Parte 1: Interior. Rio de Janeiro, 2013g.

BARRIOS, G. et al. Wall/Roof Thermal Performance Differences Between Air-Conditioned and Non-Conditioned Rooms. **Energy and Buildings**, v. 43, n. 1, p. 219-223, 2011.

BOGO, A. J. Reflexões críticas quanto as limitações do texto das normas brasileiras de desempenho NBR 15.220-3 e NBR 15.575. **HOLOS**, Ano 32, Vol. 7, 2016, p.290-298. Doi: 10.15628/holos.2016.4389.

BOGO, A. et al. Bioclimatologia aplicada ao projeto de edificações visando o conforto térmico. **Relatório técnico interno 02**. Núcleo de Pesquisa em Construção, Universidade Federal de Santa Catarina, 1994.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior. Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO). Portaria n.50, de 2013. **Catálogo de Propriedades Térmicas de Paredes, Coberturas e Vidros**, Anexo Geral V, Brasília, DF, fev. 2013. Disponível em: <http://www.labee.ufsc.br/sites/default/files/disciplinas/AnexoVRAC_CatalogoPropriedadesTermicas%20v03SET2013.pdf>. Acesso em: 26 nov. 2017.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior. Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (INMETRO). Portaria n. 18, 16 de janeiro de 2012. **Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R)**. Rio de Janeiro, 2012a. Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/legislacao/rtac/pdf/RTAC001788.pdf>>. Acesso em: 20 fev. 2019.

_____. **Manual RTQ-R**. Residencial, v.1. Com base na Portaria INMETRO nº 18/ 2012. 2012b. Disponível em: <http://www.pbeedifica.com.br/sites/default/files/projetos/etiquetagem/residencial/downloads/Manual_de_aplica%C3%A7%C3%A3o_do_%20RTQ-R-v01.pdf>. Acesso em 04 dez. 2017.

BREJNROD, K. N. et al. The absolute environmental performance of buildings. **Building and Environment**, v. 119, p. 87-98, 2017.

CHVATAL, K. M. S. Avaliação do procedimento simplificado da NBR 15.575 para determinação do nível de desempenho térmico de habitações. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 14, n. 4, p. 119-134, out./dez. 2014.

COSTALONGA, Galina Costalonga et al. The influence of the windon in energy consumption: a study in multi-family residential buildings. In: Conferência SBE16 – Sustentabilidade no Ambiente Construído (SBE Series 16), 2016, Vitória. **Proceedings...** Vitória, iiSBE, 2016, p.371-380.

DEAR, R.J. de; BRAGER, G.S.; COOPER, D. **Developing an adaptive model of thermal comfort and preference**, Final Report ASHRAE RP-884, ASHRAE Inc., Atlanta, 1997.

DORNELLES, Kelen Almeida. **Absortância solar de superfícies opacas**: métodos de determinação e base de dados para tintas látex acrílica e PVA. 2008. 160p. Tese (Doutorado) - Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2008.

ESPÍRITO SANTO. **Municípios do Espírito Santo**. 2018. Disponível em: <<https://www.es.gov.br/>>. Acesso em: 27 fev. 2018.

EUROPA. União Europeia. Parlamento Europeu. Diretiva n.31, de 2010. **Consumo de Energia dos Edifícios** (reformulação), dez. 2010.

FANGER, P. O. **Thermal comfort: analysis and applications in enviromental engneering**. New York: McGraw-Hill, 1972.

FERREIRA, Camila Carvalho; PEREIRA, Iraci Miranda. Avaliação do desempenho térmico de habitação de interesse social de acordo com a NBR 15.575, para as diversas zonas bioclimáticas. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO (ENTAC), 14., 2012, Juiz de Fora. **Anais...** Juiz de Fora, ANTAC, 2012, p. 3590-3595.

FERREIRA, Camila Carvalho; SOUZA, Henor Artur de; ASSIS, Eleonora Sad de. Discussão dos limites das propriedades térmicas dos fechamentos opacos segundo as normas de desempenho térmico brasileiras. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 17, n. 1, 2017, p.

183- 200. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/s1678-86212017000100131>>. Acesso em: 30 jan. 2018.

FROTA, A. Barros; SCHIFFER, S. **Manual de Conforto Térmico**. [6.ed.] São Paulo: Ed. Studio Nobel, 2003.

GIVONI, B. Comfort, Climate Analysis and Building Design Guidelines. **Energy and Buildings**, v. 18, 11-23, 1992.

GIL, Antonio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2017.

GOOGLE MAPS. **Vitória** (ES). 2018. Disponível em: <<https://www.google.com.br/maps/place/Vit%C3%B3ria,+ES/@-20.2800145,-40.3589596,11.75z/data=!4m5!3m4!1s0xb83d5d85374ee9:0x97595e7ea70ed809!8m2!3d-20.2976178!4d-40.2957768>>. Acesso em: 27 fev. 2018.

HAAPIO, A; VIITANIEMI, P. A critical review of building environmental assessment tools. **Environmental Impact Assessment Review**, v. 28, p. 469-482, 2008. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.eiar.2008.01.002>>. Acesso em: 10 fev. 2018.

HALAWA, E.; HOOFF, J. van. The adaptive approach to thermal comfort: A critical overview. **Energy and Buildings**, v. 51, p. 101-110, 2012.

HUMPHREYS, M. A. **Field studies of thermal comfort compared and applied**. In: BUILDING RESEARCH ESTABLISHMENT CURRENT PAPER, 1975, 75/75, Watfort.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Censo 2010**. Tabelas. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas-novoportal/sociais/populacao/9662-censo-demografico-2010.html?edicao=10503&t=resultados>>. Acesso em: 08 out. 2018.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET). **Normais Climatológicas do Brasil 1961-1990**. 1961-1990. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/projetos/rede/pesquisa/inicio.php>>. Acesso em: 18 fev. 2018.

_____. Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa. **Temperatura Compensada Média (°C)**. Série Histórica. Dados diários. Vitória. 2016. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/projetos/rede/pesquisa/gera_serie_txt.php?&mRelEstacao=83648&btnProcesso=serie&mRelDtInicio=01/01/2016&mRelDtFim=31/12/2016&mAtributos=,,,,,,1,,>. Acesso em: 15 jan. 2018.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO). **ISO 7730** - Ergonomics of the thermal environment – Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria, Geneva, 2005.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Departamento de Cartografia. **Mapa de Clima do Brasil**. 1978. Disponível em: <ftp://geoftp.ibge.gov.br/informacoes_ambientais/climatologia/mapas/brasil/clima.pdf>. Acesso em: 03 fev. 2018.

LABORATÓRIO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES (LabEEE). **Arquivos climáticos INMET 2016**. Arquivo climático de Vitória (ES). 2016. Disponível em: <<http://www.labee.ufsc.br/downloads/arquivos-climaticos/inmet2016>>. Acesso em: 21 nov. 2017.

_____. **Elaboração de uma biblioteca de componentes construtivos brasileiros para o uso no programa EnergyPlus**. 2017. Disponível em: <http://projeteefee.mma.gov.br/wp-content/uploads/2017/02/Biblioteca_ComponentesConstrutivos-1.pdf>. Acesso em: 19 jan. 2019.

_____. **Sol-ar 6.2**. Carta Solar. [20--?]. Disponível em: <<http://www.labee.ufsc.br/downloads/softwares/analysis-sol-ar>>. Acesso em: 13 fev. 2018.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F.O.R. **Eficiência energética na arquitetura**. [3.ed.] Rio de Janeiro, 2014.

LAMBERTS, R. et al. **Desempenho térmico de edificações**. Disciplina: ECV 5161. Apostila. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2016.

MANIOGLU, G.; YILMAZ, Z. Economic evaluation of the building envelope and operation period of heating system in terms of thermal comfort. **Energy and Buildings**, Amsterdam, v. 38, p. 266–272, jun. 2006.

MICHEL, Mariana Vallory; NICO-RODRIGUES, Edna Aparecida; LARANJA, Coelho Laranja. Paredes utilizadas recentemente em edifícios residenciais em Vitória. In: SUSTENTABILIDADE URBANA: 14ª Jornada Urbanere e 2ª Jornada Cires (Cires-Urbenere), 14., 2018, Vitória. **Anais...** Vitória, 2018, p. 1671-1680. Disponível em: <https://drv.tw/_dguc/14-4g/docs/seuresc/ha0ro937gcuc7l7deffksulhg5h7mbp1/uc1q8qhpfdjhl8npitk4ujb3rbeo3fkg/1552017600000/14194181539234438788/*1qVOUQ5df7VI56rh4k54-b4254VaswFLU>. Acesso em: 20 dez. 2017.

NICO-RODRIGUES, Edna Aparecida. **Quando a janela define a condição de desempenho térmico em ambiente ventilados naturalmente**: caso específico das edificações multifamiliares em Vitória, ES. 2015. 201 f. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo). Programa de Doutorado em Arquitetura e Urbanismo, Faculdade de Arquitetura, Construção e Desenho, da Universidade de Bío Bío, Concepción, 2015.

OLGYAY, V. **Clima y arquitectura em Colombia**. Facultad de Arquitectura. Universidad del Valle: Cali, 1968.

OLGYAY, V. **Design with climate** – bioclimatic approach to architectural regionalismo. 4. ed. Princeton University Press: New Jersey, 1973.

OLIVEIRA, Liader; SILVA, Antônio César S. B.; PINTO, Mônica Martins. Avaliação dos limites das propriedades térmicas dos fechamentos opacos da NBR 15220-3, para habitações de interesse social, da Zona Bioclimática 2. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO (ENTAC), 15., 2014, Maceió. **Anais...** Maceió, ANTAC, 2014, p. 273-282.

OLIVEIRA, Raquel Diniz et al. Thermal Comfort for users according to the Brazilian Housing Buildings Performance Standards. **Energy Procedia**, v.78, 2923 – 2928, 2015.

OLIVEIRA, Raquel Diniz; SOUZA, Roberta Vieira Gonçalves de; SILVA, Roberto, M. da Silva. Issues to be improved on the Thermal Performance Standards for Sustainable Buildings consolidation: an overview of Brazil. **Energy Procedia**, v.111, 71-80, 2017.

OTEC. **DesignBuilder software Ltda**. Version 3.0.0.105. 2012.

PEREIRA, C. D. **A Influência do Envelope no Desempenho Térmico de Edificações Residenciais Unifamiliares Ocupadas e Ventiladas Naturalmente**. Florianópolis, 2009. 141 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2009.

PEREIRA, Iraci Miranda; ASSIS, Eleonora Sad de. Avaliação de modelos de índices adaptativos para uso no projeto arquitetônico bioclimático. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 10, n. 1, 2010, p. 31- 51.

SANTO, Amabelli D'ell; ALVAREZ, Cristina Engel; NICO-RODRIGUES, Edna Aparecida. Conforto e desempenho térmico em contradição na NBR 15.575. **Cadernos do PROARQ 20**. Rio de Janeiro Universidade Federal do Rio de Janeiro, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Programa de Pós-Graduação em Arquitetura, julho, 2013.

SICURELLA, F.; EVOLA, G.; WURTZ, E. A statistical approach for the evaluation of thermal and visual comfort in free-running buildings. **Energy and Buildings**, v. 47, p. 402-410, 2012.

SILVA, A. S. et al. Incerteza do método de simulação da NBR 15575-1 para a avaliação do desempenho térmico de habitações. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 14, n. 4, p. 103-117, out./dez. 2014.

SILVEIRA, Francisco Massucci; LABAKI, Lucila Chebel. Análise do desempenho térmico para edificações residenciais ventiladas naturalmente através de simulação computacional baseada em abordagem adaptativa. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO (ENTAC), 14., 2012, Juiz de Fora. **Anais...** Juiz de Fora, ANTAC, 2012, p. 877-885.

SINDICATO DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO CIVIL NO ESTADO DO ESPÍRITO SANTO (SINDUSCON-ES). **31º Censo Imobiliário**. 2017. Disponível em: <<http://www.sinduscon-es.com.br/v2/cgi-bin/conteudo.asp?menu2=55>>. Acesso em: 25 nov. 2017.

SOARES, M. M. **Avaliação dos Parâmetros de desempenho térmico da NBR 15575/2013: Habitações de Interesse Social na zona bioclimática 2**. Pelotas, 2014. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2014.

SOARES, M. M.; SILVA, A. C. S. B. **Avaliação dos parâmetros de desempenho térmico da NBR 15575 para as Zonas Bioclimáticas 1, 2 e 3 para habitações térreas de interesse social no método simplificado**. In: ENCONTRO DE PÓS-GRADUAÇÃO DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS, 15., Pelotas, 2013. **Anais...** Pelotas, 2013.

SOARES, M. M.; SILVA, A. C. S. B. da. Análise e compatibilização dos métodos simplificado e por simulação da NBR 15575: zona bioclimática 2. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 17, n. 1, p. 305-327, jan./mar. 2017. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/s1678-86212017000100137>>. Acesso em: 18 fev. 2018.

SORGATO, Márcio José; MELO, Ana Paula; LAMBERTS, Roberto. Análise do método de simulação de desempenho térmico da norma NBR 15.575. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO (ENTAC), 12., 2013, Brasília. **Anais...** Brasília, ELACAC, 2013, p. 13-21.

TERRA. **Brasileiro passa em média 5 horas por dia diante da TV**. 2017. Disponível em: <<https://www.terra.com.br/diversao/tv/blog-sala-de-tv/brasileiro-passa-em-media-5-horas-por-dia-diante-da-tv,fbbb34cbca28180b72805407aa1688dao62ier5r.html>>. Acesso em: 10 out. 2019.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA (UFSC). Parceria com: Laboratório de Eficiência Energética em Edificações (LabEEE); Calebe Design e Creato. **Gráfico Rosa dos Ventos**. Dados climáticos. Vitória (ES). Disponível em: <http://projeteee.mma.gov.br/dados-climaticos/?cidade=ES++Vit%C3%B3ria&id_cidade=bra_es_vitoria-salles.ap.836490_try.1962>. Acesso em: 19 jan. 2019.

U.S. Green Building Council. 2015. Disponível em: <www.usgbc.org>. Acesso em: 10 fev. 2018.

YUN, Geun Young. Influences of perceived control on thermal comfort and energy use in buildings. **Energy and Buildings**, v. 158, p. 822–830, 2018.

APÊNDICES

Apêndice I: Fórmulas para obtenção das variáveis de densidade lumínica

$$FLn = A \times lux \text{ desejado}$$

Onde:

FLn: fluxo luminoso necessário (lm);

A: área do ambiente considerado (m²);

Lux desejado: valor encontrado na NBR 5.413 de acordo com o ambiente (lx).

$$EL = \frac{FLn}{P}$$

Onde:

EL: eficiência luminosa (lm/ W);

FLn: fluxo luminoso necessário (lm);

P: potência (W).

$$QL = \frac{FLn}{FLl}$$

Onde:

QL: quantidade de lâmpadas;

FLn: fluxo luminoso necessário (lm);

FLl: fluxo luminoso lâmpada escolhida (lm) – encontrado no catálogo do fabricante.

$$PLa = QL \times Pl$$

Onde:

PLa: potência lumínica do ambiente (W);

QL: quantidade de lâmpadas;

Pl: potência da lâmpada (W) – encontrado no catálogo do fabricante.

Apêndice II: Metodologia de cálculo de transmitância térmica

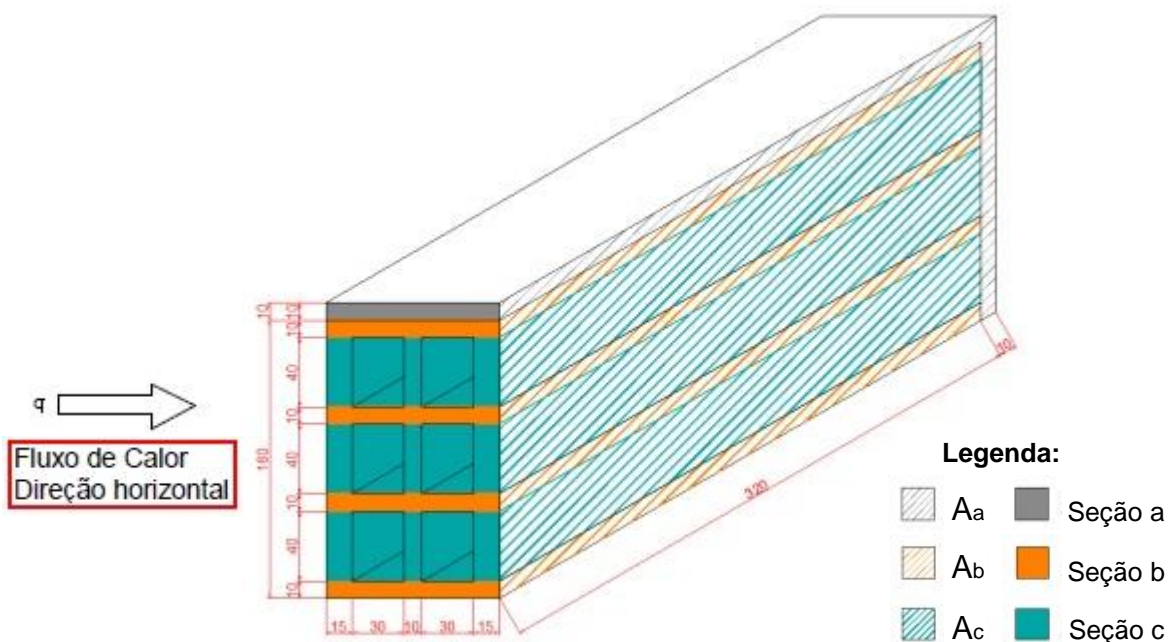
O Anexo C da NBR 15.220-2 (ABNT, 2013b) apresenta alguns exemplos de como calcular as propriedades térmicas de elementos construtivos de uma edificação. O procedimento de cálculo relacionado à definição de resistências e transmitância térmica de paredes externas estão expostos no Anexo II desta dissertação. Esse método, que também se aplica para os demais elementos construtivos, é descrito neste item por ter sido adotado para definição das resistências e de transmitância térmica dos elementos trabalhados e como forma de esclarecer as etapas de cálculo normativas, divididas em três etapas:

- Resistência térmica da parede;
- Resistência térmica total;
- Transmitância térmica.

ETAPA A

Para encontrar a resistência térmica da parede, foram seguidas as instruções da NBR 15.220-2 (ABNT, 2005b) apresentadas no Anexo II. Primeiramente, identificaram-se as seções cujas composições de materiais fossem diferentes (Sa e Sb FIG. 33), considerando o sentido do fluxo de calor.

Figura 33 – Exemplo da identificação das seções no bloco de concreto



Fonte: LabEEE, 2017, p. 13, adaptações da autora.

Em sequência, calculou-se a área de uma face vertical de cada seção (hachuras a 45° na FIG. 33, ortogonais ao fluxo de calor) com base na FÓRM. 13 e as respectivas resistências (base de informações: cores sólidas da FIG. 33) utilizando a FÓRM. 14 e considerando que as espessuras são as profundidades das áreas calculadas (FIG. 33) – profundidade que o fluxo de calor percorre. Complementa-se que a FÓRM. 14 pode aumentar conforme a variação de materiais da seção ao longo do percurso do fluxo de calor, representado pelas reticências na fórmula. No exemplo da FIG. 33, as seções a e b possuem apenas um material no percurso do fluxo de calor no bloco cerâmico, além das camadas externa e interna de reboco – logo, se fosse calcular sua resistência, seriam consideradas três divisões de “e/λ” (FÓRM. 14).

Porém, para a seção c, seriam cinco divisões. Três referentes ao bloco cerâmico (representadas respectivamente pelas camadas de concreto; de ar; e de concreto novamente) e mais as camadas externas (primeira e quinta) referente aos rebocos externo e interno. Observa-se que as camadas de mesmo material em uma mesma seção de um bloco são repetidas, pois representam um outro obstáculo à passagem do fluxo de calor, cada um com sua espessura (“profundidade”).

$$A_a = larg_a \cdot h_a \quad (13)$$

Onde:

A_a: Área da seção a (m²);

larg_a: largura da seção a (m);

h_a: altura da seção a (m).

$$R_a = \frac{e_x}{\lambda_x} + \frac{e_o}{\lambda_o} + \dots \quad (14)$$

Onde:

R_a: resistência da seção a ((m².K)/W);

e_x: espessura do material x (m);

λ_x: condutividade térmica do material x (W/(m.K));

e_o: espessura do material o (m);

λ_o: condutividade térmica do material o (W/(m.K));

...: representa a continuação da fórmula caso a parede tenha mais materiais na mesma seção.

Os valores das condutividades térmicas de cada material foram extraídos da NBR 15.220-2 (ABNT, 2005b) (Anexo I). Acrescenta-se que, para as seções com alguma camada interna de ar, considera-se o valor da resistência do ar (R_{ar}) em vez da razão “e/λ”, adotando os valores estipulados conforme NBR 15.220-2 (ABNT, 2005b) (TAB. 2, Referencial Teórico). Para esses casos, a fórmula para cálculo da resistência fica da seguinte maneira:

$$R_a = \frac{e_x}{\lambda_x} + R_{ar} + \frac{e_o}{\lambda_o} + \dots \quad (15)$$

Onde:

R_a : resistência da seção a $((m^2.K)/W)$;

e_x : espessura do material x (m);

λ_x : condutividade térmica do material x $(W/(m.K))$;

R_{ar} : resistência do ar de fluxo horizontal $((m^2.K)/W)$;

e_o : espessura do material o (m);

λ_o : condutividade térmica do material o $(W/(m.K))$;

...: representa a continuação da fórmula caso a parede tenha mais materiais na mesma seção.

Para concluir essa etapa, somam-se as resistências térmicas da parede por meio da FÓRM. 15, que é ponderada e ajustada de acordo com a quantidade de seções e de vezes que a seção se repete. A FÓRM. 16 está expressa considerando o exemplo do bloco de concreto supra-apresentado (FIG. 33) na descrição desta etapa:

$$R_t = \frac{A_a + 4xA_b + 3xA_c}{\frac{A_a}{R_a} + \frac{4xA_b}{R_b} + \frac{3xA_c}{R_c}} \quad (16)$$

Onde:

R_t : resistência térmica da parede $((m^2.K)/W)$;

A_a : Área da seção a (m^2);

A_b : Área da seção b (m^2);

A_c : Área da seção c (m^2);

R_a : resistência da seção a $((m^2.K)/W)$;

R_b : resistência da seção b $((m^2.K)/W)$;

R_c : resistência da seção c $((m^2.K)/W)$.

ETAPA B

A resistência térmica total é a resistência da parede (etapa a) acrescida das resistências superficiais interna e externa da parede (FÓRM. 17). Essas duas etapas podem ser melhor entendidas na FIG. 34. As resistências superficiais foram definidas pela NBR 15.220-2 (ABNT, 2005b, p.7) de acordo com o fluxo de trabalho – que nesse caso é horizontal.

$$RT = Rsi + Rt + Rse \quad (17)$$

Onde:

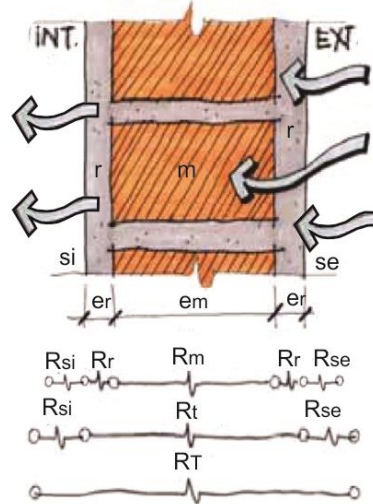
RT : resistência térmica total $((m^2.K)/W)$;

Rsi : resistência térmica superficial interna de fluxo horizontal $((m^2.K)/W)$;

Rt : resistência térmica da parede $((m^2.K)/W)$;

Rse : resistência térmica superficial externa de fluxo horizontal $((m^2.K)/W)$.

Figura 34 – Resistências térmicas



Fonte: LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014, p. 213, adaptações da autora.

ETAPA C

O U foi obtido pela inversão da resistência térmica total encontrada (FÓRM. 18):

$$U = \frac{1}{RT} \quad (18)$$

Onde:

U: transmitância térmica (W/(m².K));

RT: resistência térmica total ((m².K)/W).

As etapas a, b e c representam os procedimentos de cálculo feitos para se obter os U de paredes não listadas no catálogo do INMETRO (BRASIL, 2013). Esses cálculos foram feitos por meio de planilha do Excel com base nesse modelo de cálculo. Assim, para qualquer situação foram inseridos apenas os dados de entrada da parede, fazendo os devidos ajustes necessários – por exemplo, de quantidade de camadas que varia conforme o tipo de parede. Observa-se que essa metodologia foi exemplificada para PE, porém é válida para qualquer outro elemento construtivo fazendo os devidos ajustes.

Apêndice III: Dados específicos dos elementos construtivos

GESSO (Ceiling)		
Espeçsura (e)	0,003 m	
Condutividade térmica (λ)	0,35	(ABNT, 2005b, p. 9)
Rt	...	Resultado 4.3.1
α	0,10	(DORNELLES, 2008, p.124)
Emissividade (ϵ)	0,90	(ABNT, 2005b, p. 8)
Textura	Smooth	
Posição do elemento	Interna	
Sentido do fluxo de calor	Descendente	(ABNT, 2005b, p. 7; FROTA; SCHIFFER, 2003, p.191)
hse	5,88 W/m².K	
hsi	5,88 W/m².K	
LAJE DE PISO INTERNA (Floor slab; Internal floor)		
Espeçsura (e) laje	0,18 m	
Condutividade térmica (λ) laje	1,75	(ABNT, 2005b, p. 9)
Espeçsura (e) contrapiso	0,025 m	
Condutividade térmica (λ) contrapiso	1,15	(ABNT, 2005b, p. 9)
Espeçsura (e) piso	0,01 m	
Condutividade térmica (λ) piso	0,90	(ABNT, 2005b, p. 9)
Rt	...	Resultado 4.3.1
α	0,60	(DORNELLES, 2008, p.124)
Emissividade (ϵ)	0,90	(ABNT, 2005b, p. 8)
Textura	Smooth	
Posição do elemento	Interna	
Sentido do fluxo de calor	Descendente	(ABNT, 2005b, p. 7; FROTA; SCHIFFER, 2003, p.191)
hse	5,88 W/m².K	
hsi	5,88 W/m².K	
LAJE DE PISO EXTERNA (External floor)¹		
Espeçsura (e) laje	0,22 m	
Condutividade térmica (λ) laje	1,75	(ABNT, 2005b, p. 9)
Espeçsura (e) contrapiso	0,025 m	
Condutividade térmica (λ) contrapiso	1,15	(ABNT, 2005b, p. 9)
Espeçsura (e) piso	0,01 m	
Condutividade térmica (λ) piso	0,90	(ABNT, 2005b, p. 9)
Rt	...	Resultado 4.3.1
α	0,60	(DORNELLES, 2008, p.124)
Emissividade (ϵ)	0,90	(ABNT, 2005b, p. 8)
Textura	Smooth	
Posição do elemento	Externa	
Sentido do fluxo de calor	Ascendente	(ABNT, 2005b, p. 7; FROTA; SCHIFFER, 2003, p.190)
hse	25,00 W/m².K	
hsi	10,00 W/m².K	
COBERTURA (Pitched roof unoccupied)		
Material	Fibrocimento	
Espeçsura (e)	0,06 m	(AKUTSU; VITTORINO, 1999, p. 2)
Condutividade térmica (λ)	0,95	(ABNT, 2005b, p. 9)
Rt	...	Resultado 4.3.1
α	0,60	(DORNELLES, 2008, p.124)
Emissividade (ϵ)	0,98	(AKUTSU; VITTORINO, 1999, p. 2)
Textura	Rough	
Posição do elemento	Externa	
Sentido do fluxo de calor	Descendente	(ABNT, 2005b, p. 7; FROTA; SCHIFFER, 2003, p.190)
hse	25,00 W/m².K	
hsi	5.88 W/m².K	

PAREDE INTERNA (Internal partitions)		
Especificação	...	Resultado 4.2.3
Espessura (e)	...	Resultado 4.2.3
Condutividade térmica (λ)	...	Resultado 4.2.3
Rt	...	Resultado 4.3.1
α	0,10	(DORNELLES, 2008, p.124)
Absortância visível	0,60	(OTEC, 2012, s/ p.)
Emissividade (ε)	0,90	(ABNT, 2005b, p. 8)
Textura	Smooth	
Posição do elemento	Interna	
Sentido do fluxo de calor	Horizontal	(ABNT, 2005b, p. 7; FROTA; SCHIFFER, 2003, p.191)
hse	7,69 W/m².K	
hsi	7,69 W/m².K	
PAREDE EXTERNA (External walls)		
Especificação	...	Resultados 4.2.3 (4 PE)
Espessura (e)	...	Resultados 4.2.3 (4 PE)
Condutividade térmica (λ)	...	Resultados 4.2.3 (4 PE)
Rt	...	Resultados 4.3.1 (4 PE)
α	Variável ³	(DORNELLES, 2008, p.124)
Absortância visível	0,60	(OTEC, 2012, s/ p.)
Emissividade (ε)	0,90	(ABNT, 2005b, p. 8)
Textura	Smooth	
Posição do elemento	Externa	
Sentido do fluxo de calor	Horizontal	(ABNT, 2005b, p. 7; FROTA; SCHIFFER, 2003, p.190)
hse	25,00 W/m².K	
hsi	7,69 W/m².K	
PORTA (Internal door)²		
Espessura (e) lâmina madeira	2 x 0,001 m	
Condutividade térmica (λ)	2 x 0,29	(ABNT, 2005b, p. 10)
Espessura camada de ar	0,028	
Resistência do ar	0,16	(ABNT, 2005b, p. 8)
Rt	...	Resultado 4.3.1
α	0,70	(DORNELLES, 2008, p.124)
Emissividade (ε)	0,90	(ABNT, 2005b, p. 8)
Textura	Smooth	
Porcentagem de abertura	95%	
Tempo que fica aberta	50%	
Sentido do fluxo de calor	Horizontal	(ABNT, 2005b, p. 7; FROTA; SCHIFFER, 2003, p.191)
hse	7,69 W/m².K	
hsi	7,69 W/m².K	
JANELA		
U do vidro laminado incolor 4mm	5,70 W/(m².K)	(INMETRO, 2013, p. 26; NICO-RODRIGUES, 2015, p. 106)
Demais propriedades	-	(NICO-RODRIGUES, 2015, p. 106)

Nota: ¹ Laje de piso externa se refere à laje de piso do primeiro pavimento que está sobre o pilotis.

² Todas as portas da pesquisa são internas, pois nenhuma é voltada para o exterior da edificação.

³ Ver Metodologia das simulações.

Fonte: A autora, 2019, com base nas referências da coluna direita.

Apêndice IV: Modelo da entrevista semi-estruturada/questionário

Questionário

Esse questionário representa uma etapa metodológica da dissertação de mestrado da aluna Mariana Vallory Michel, orientanda da Prof.^a Dr.^a Andréa Coelho Laranja e co-orientanda da Prof.^a Dr.^a Edna Aparecida Nico-Rodrigues, do Programa de Pós-Graduação de Arquitetura e Urbanismo (PPGAU) da Universidade Federal do Espírito Santo (UFES). O questionário visa à identificação dos tipos de paredes utilizadas nas obras residenciais listadas no 31º Censo Imobiliário do SINDUSCON-ES (2017), sendo estruturado em 13 perguntas: 11 gerais (paredes da periferia/ fachada; entre unidades autônomas e internas) e 2 específicas das fachadas. As respostas devem ser marcadas com um “X” na opção correspondente para cada tipo de parede - com exceção da 1ª questão, que deve ser respondida com as dimensões fixas do tipo de parede utilizado. Ver “Questionário Exemplo” em anexo. Obs.: em situações com mais de uma resposta para o mesmo item, priorizar as informações predominantes e as aplicáveis às áreas secas (mais especificamente às salas), no caso das paredes internas.

PERGUNTAS GERAIS		PAREDE		
		Periferia/ fachada	Entre unidades autônomas	Interna
1) Quais são as dimensões fixas da parede utilizada? Nota: - Preencher este item com as dimensões fixas da parede no item correspondente à parede utilizada: <u>largura</u> X <u>altura</u> X <u>comprimento</u> epc: espessura placa cimentícia ed: espessura drywall et: espessura total da parede <u> </u> : preencher conforme o tipo	a) Bloco cerâmico	<u> </u> X <u> </u> X <u> </u>	<u> </u> X <u> </u> X <u> </u>	<u> </u> X <u> </u> X <u> </u>
	b) Bloco de concreto	<u> </u> X <u> </u> X <u> </u>	<u> </u> X <u> </u> X <u> </u>	<u> </u> X <u> </u> X <u> </u>
	c) Placa cimentícia/ drywall	epc= <u> </u> ed= <u> </u> et= <u> </u>	ed= <u> </u> et= <u> </u>	ed= <u> </u> et= <u> </u>
	d) Outro. Qual? <u> </u>	<u> </u>	<u> </u>	<u> </u>
2) Espessura do reboco? Obs.: na resposta da periferia, marcar duas espessuras (a externa e a interna)	a) 1,5 cm	()	()	()
	b) 2,0 cm	()	()	()
	c) 2,5 cm	()	()	()
	d) 3,0 cm	()	()	()
	e) Outra. Qual? <u> </u>	()	()	()
	f) Não se aplica	()	()	()
3) Tipo de reboco?	a) Tradicional (cimento, areia e água)	()	()	()
	b) De gesso	()	()	()
	c) Não se aplica	()	()	()
4) Possui alguma camada interna extra não mencionada? Obs.: desconsiderar camadas de acabamento (questão 12)	a) Qual? <u> </u> Espessura? <u> </u> Posição? <u> </u>	()	()	()
	b) Qual? <u> </u> Espessura? <u> </u> Posição? <u> </u>	()	()	()
	c) Qual? <u> </u> Espessura? <u> </u> Posição? <u> </u>	()	()	()
	d) Não	()	()	()

5) Parede dupla?	a) Sim	()	()	()
	b) Não	()	()	()
6) Cor predominante do acabamento?	a) Branca	()	()	()
	b) Bege	()	()	()
	c) Outra. Qual? _____	()	()	()
7) Tipo de tinta?	a) PVA fosca	()	()	()
	b) Acrílica fosca	()	()	()
	c) Acrílica acetinada	()	()	()
	d) Outra. Qual? _____	()	()	()
	e) Não se aplica	()	()	()
Para as paredes de bloco ou tijolo:				
8) Sentido de assentamento dos blocos/ tijolos?	a) Vertical (menor dimensão como espessura da parede)	()	()	()
	b) Horizontal (menor dimensão como altura do bloco/ tijolo)	()	()	()
	c) Não se aplica	()	()	()
9) Qual é a espessura da argamassa de assentamento horizontal entre os blocos/tijolos?	a) 1,0 cm	()	()	()
	b) 1,5 cm	()	()	()
	c) Outra. Qual? _____	()	()	()
	d) Não se aplica	()	()	()
10) E vertical?	a) 0,5 cm	()	()	()
	b) 1,0 cm	()	()	()
	c) 1,5 cm	()	()	()
	d) Outra. Qual? _____	()	()	()
	e) Junta seca/ não se aplica	()	()	()
11) Quantos furos tem o bloco?	a) 2	()	()	()
	b) 6	()	()	()
	c) 8	()	()	()
	d) 9	()	()	()
	e) Outros. Quais? _____	()	()	()
	f) Não se aplica	()	()	()
FACHADA				
12) Material predominante nas superfícies opacas das fachadas?	() a) Pintura () b) Textura () c) Pastilha () d) Porcelanato () e) Granito () f) ACM () g) Outro. Qual? _____			
13) Para as respostas "c" a "g" ("pastilha", "porcelanato", "granito", "ACM" e "outro") da questão 12, qual é o tipo de acabamento?	() a) Brilho/ polido () b) Acetinado () c) Fosco/ natural () d) Outro. Qual? _____ () e) Não se aplica			

Apêndice V: Modelo do preenchimento do questionário

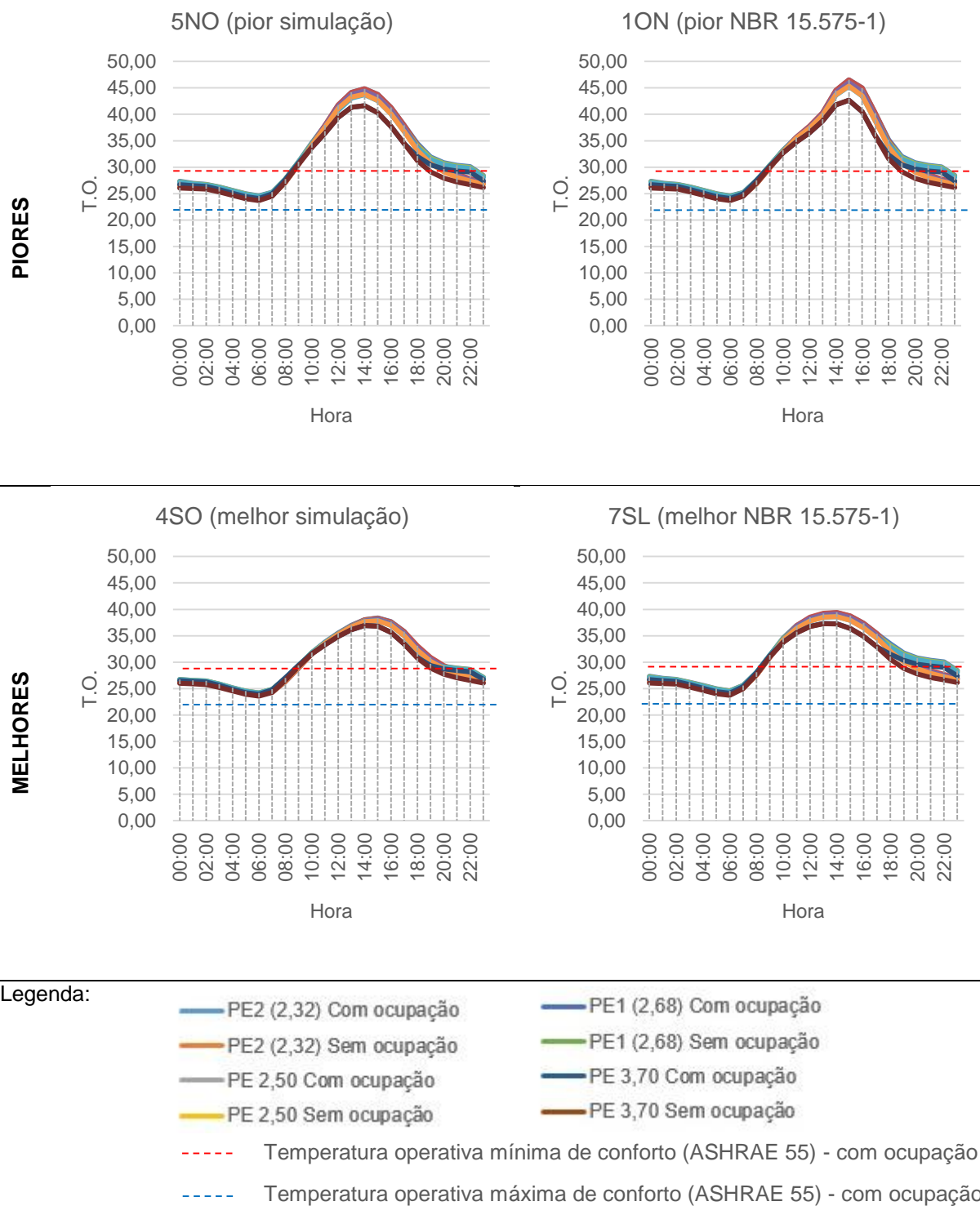
Questionário (modelo)

Esse questionário representa uma etapa metodológica da dissertação de mestrado da aluna Mariana Vallory Michel, orientanda da Prof.^a Dr.^a Andréa Coelho Laranja e co-orientanda da Prof.^a Dr.^a Edna Aparecida Nico-Rodrigues, do Programa de Pós-Graduação de Arquitetura e Urbanismo (PPGAU) da Universidade Federal do Espírito Santo (UFES). O questionário visa à identificação dos tipos de paredes utilizadas nas obras residenciais listadas no 31º Censo Imobiliário do SINDUSCON-ES (2017), sendo estruturado em 13 perguntas: 11 gerais (paredes da periferia/ fachada; entre unidades autônomas e internas) e 2 específicas das fachadas. As respostas devem ser marcadas com um "X" na opção correspondente para cada tipo de parede - com exceção da 1ª questão, que deve ser respondida com as dimensões fixas do tipo de parede utilizado. Ver "Questionário Exemplo" em anexo. Obs.: em situações com mais de uma resposta para o mesmo item, priorizar as informações predominantes e as aplicáveis às áreas secas (mais especificamente às salas), no caso das paredes internas.

PERGUNTAS GERAIS		PAREDE		
		Periferia/ fachada	Entre unidades autônomas	Interna
1) Quais são as dimensões fixas da parede utilizada? Nota: - Preencher este item com as dimensões fixas da parede no item correspondente à parede utilizada: <u>largura</u> X <u>altura</u> X <u>comprimento</u> epc: espessura placa cimentícia ed: espessura drywall et: espessura total da parede _____: preencher conforme o tipo	a) Bloco cerâmico	__x__x__	9 x 14 x 24	__x__x__
	b) Bloco de concreto	14 x 19 x 39	__x__x__	__x__x__
	c) Placa cimentícia/ drywall	epc=_____ ed=_____ et=_____	ed=_____ et=_____	ed= 1,25 et= 11,50
	d) Outro. Qual? _____	_____	_____	_____
2) Espessura do reboco? Obs.: na resposta da periferia, marcar duas espessuras (a externa e a interna)	a) 1,5 cm	()	()	()
	b) 2,0 cm	()	()	()
	c) 2,5 cm	(X)	(X)	()
	d) 3,0 cm	()	()	()
	e) Outra. Qual? _____	()	()	()
	f) Não se aplica	()	()	(X)
3) Tipo de reboco?	a) Tradicional (cimento, areia e água)	()	()	()
	b) De gesso	()	()	()
	c) Não se aplica	()	()	()
4) Possui alguma camada interna extra não mencionada? Obs.: desconsiderar camadas de acabamento (questão 12)	a) Qual? Lã de rocha Espessura? 9cm Posição? Entre as placas	()	()	(X)
	b) Qual? _____ Espessura? _____ Posição? _____	()	()	()
	c) Qual? _____ Espessura? _____ Posição? _____	()	()	()
	d) Não	(X)	(X)	()
5) Parede dupla?	a) Sim	()	(X)	()

	b) Não	(<input checked="" type="checkbox"/>)	(<input type="checkbox"/>)	(<input checked="" type="checkbox"/>)
6) Cor predominante do acabamento?	a) Branca	(<input type="checkbox"/>)	(<input checked="" type="checkbox"/>)	(<input checked="" type="checkbox"/>)
	b) Bege	(<input type="checkbox"/>)	(<input type="checkbox"/>)	(<input type="checkbox"/>)
	c) Outra. Qual? Cinza claro	(<input checked="" type="checkbox"/>)	(<input type="checkbox"/>)	(<input type="checkbox"/>)
7) Tipo de tinta?	a) PVA fosca	(<input type="checkbox"/>)	(<input checked="" type="checkbox"/>)	(<input checked="" type="checkbox"/>)
	b) Acrílica fosca	(<input type="checkbox"/>)	(<input type="checkbox"/>)	(<input type="checkbox"/>)
	c) Acrílica acetinada	(<input type="checkbox"/>)	(<input type="checkbox"/>)	(<input type="checkbox"/>)
	d) Outra. Qual? _____	(<input type="checkbox"/>)	(<input type="checkbox"/>)	(<input type="checkbox"/>)
	e) Não se aplica	(<input checked="" type="checkbox"/>)	(<input type="checkbox"/>)	(<input type="checkbox"/>)
Para as paredes de bloco ou tijolo:				
8) Sentido de assentamento dos blocos/tijolos?	a) Vertical (menor dimensão como espessura da parede)	(<input checked="" type="checkbox"/>)	(<input checked="" type="checkbox"/>)	(<input type="checkbox"/>)
	b) Horizontal (menor dimensão como altura do bloco/tijolo)	(<input type="checkbox"/>)	(<input type="checkbox"/>)	(<input type="checkbox"/>)
	c) Não se aplica	(<input type="checkbox"/>)	(<input type="checkbox"/>)	(<input checked="" type="checkbox"/>)
9) Qual é a espessura da argamassa de assentamento horizontal entre os blocos/tijolos?	a) 1,0 cm	(<input type="checkbox"/>)	(<input type="checkbox"/>)	(<input type="checkbox"/>)
	b) 1,5 cm	(<input checked="" type="checkbox"/>)	(<input checked="" type="checkbox"/>)	(<input type="checkbox"/>)
	c) Outra. Qual? _____	(<input type="checkbox"/>)	(<input type="checkbox"/>)	(<input type="checkbox"/>)
	d) Não se aplica	(<input type="checkbox"/>)	(<input type="checkbox"/>)	(<input checked="" type="checkbox"/>)
10) É vertical?	a) 0,5 cm	(<input type="checkbox"/>)	(<input type="checkbox"/>)	(<input type="checkbox"/>)
	b) 1,0 cm	(<input checked="" type="checkbox"/>)	(<input checked="" type="checkbox"/>)	(<input type="checkbox"/>)
	c) 1,5 cm	(<input type="checkbox"/>)	(<input type="checkbox"/>)	(<input type="checkbox"/>)
	d) Outra. Qual? _____	(<input type="checkbox"/>)	(<input type="checkbox"/>)	(<input type="checkbox"/>)
	e) Junta seca/ não se aplica	(<input type="checkbox"/>)	(<input type="checkbox"/>)	(<input checked="" type="checkbox"/>)
11) Quantos furos tem o bloco?	a) 2	(<input type="checkbox"/>)	(<input checked="" type="checkbox"/>)	(<input type="checkbox"/>)
	b) 6	(<input checked="" type="checkbox"/>)	(<input type="checkbox"/>)	(<input type="checkbox"/>)
	c) 8	(<input type="checkbox"/>)	(<input type="checkbox"/>)	(<input type="checkbox"/>)
	d) 9	(<input type="checkbox"/>)	(<input type="checkbox"/>)	(<input type="checkbox"/>)
	e) Outros. Quais? _____	(<input type="checkbox"/>)	(<input type="checkbox"/>)	(<input type="checkbox"/>)
	f) Não se aplica	(<input type="checkbox"/>)	(<input type="checkbox"/>)	(<input checked="" type="checkbox"/>)
FACHADA				
12) Material predominante nas superfícies opacas das fachadas?	(<input type="checkbox"/>) a) Pintura (<input type="checkbox"/>) b) Textura (<input checked="" type="checkbox"/>) c) Pastilha (<input type="checkbox"/>) d) Porcelanato (<input type="checkbox"/>) e) Granito (<input type="checkbox"/>) f) ACM (<input type="checkbox"/>) g) Outro. Qual? _____			
13) Para as respostas "c" a "g" ("pastilha", "porcelanato", "granito", "ACM" e "outro") da questão 12, qual é o tipo de acabamento?	(<input type="checkbox"/>) a) Brilho/ polido (<input type="checkbox"/>) b) Acetinado (<input checked="" type="checkbox"/>) c) Fosco/ natural (<input type="checkbox"/>) d) Outro. Qual? _____ (<input type="checkbox"/>) e) Não se aplica			

Apêndice VI: Equinócios de outono dos piores e melhores DTc



Nota: as fontes dos dados desses gráficos são apresentadas nas oitavas abas dos Apêndice D4 (1ON), D7 (4SO), D8 (5NO) e D10 (7SL).

APÊNDICES DIGITAIS

Os apêndices digitais listados abaixo e desenvolvidos nesta dissertação estão disponíveis no link <https://marianavallory.wixsite.com/arquitetura>:

APÊNDICE D1 – Compilação resultados questionários por obra e por posição de parede

APÊNDICE D2 – Memória de cálculo transmitâncias térmicas

APÊNDICE D3 – Memória de cálculo absorvância máxima NBR 15.220

APÊNDICE D4 – 1ON: temperaturas operativas, índices conforto e dias solares

APÊNDICE D5 – 2NL: temperaturas operativas e índices conforto

APÊNDICE D6 – 3LS: temperaturas operativas e índices conforto

APÊNDICE D7 – 4SO: temperaturas operativas, índices conforto e dias solares

APÊNDICE D8 – 5NO: temperaturas operativas, índices conforto e dias solares

APÊNDICE D9 – 6OS: temperaturas operativas e índices conforto

APÊNDICE D10 – 7SL: temperaturas operativas, índices conforto e dias solares

APÊNDICE D11 – 8LN: temperaturas operativas e índices conforto

APÊNDICE D12 – 1ON: Horários de desconforto por mês Vitória

APÊNDICE D13 – 2NL: Horários de desconforto por mês Vitória

APÊNDICE D14 – 3LS: Horários de desconforto por mês Vitória

APÊNDICE D15 – 4SO: Horários de desconforto por mês Vitória

APÊNDICE D16 – 5NO: Horários de desconforto por mês Vitória

APÊNDICE D17 – 6OS: Horários de desconforto por mês Vitória

APÊNDICE D18 – 7SL: Horários de desconforto por mês Vitória

APÊNDICE D19 – 8LN: Horários de desconforto por mês Vitória

ANEXOS

Anexo I: Propriedades térmicas de materiais – dado de entrada para cálculo da resistência térmica de paredes (Tabela B.3, ABNT, 2005b, p.9-10, adaptações da autora).



Material	ρ (kg/m ³)	λ (W/(m.K))	c (kJ/(kg.K))
Argamassas			
argamassa comum	1800-2100	1,15	1,00
argamassa de gesso (ou cal e gesso)	1200	0,70	0,84
argamassa celular	600-1000	0,40	1,00
Cerâmica			
tijolos e telhas de barro	1000-1300	0,70	0,92
	1300-1600	0,90	0,92
	1600-1800	1,00	0,92
	1800-2000	1,05	0,92
Fibro-cimento			
placas de fibro-cimento	1800-2200	0,95	0,84
	1400-1800	0,65	0,84
Concreto (com agregados de pedra)			
concreto normal	2200-2400	1,75	1,00
concreto cavernoso	1700-2100	1,40	1,00
Concreto com pozolana ou escória expandida com estrutura cavernosa (ρ dos inertes ~750 kg/m³)			
com finos	1400-1600	0,52	1,00
	1200-1400	0,44	1,00
sem finos	1000-1200	0,35	1,00
Concreto com argila expandida			
dosagem de cimento > 300 kg/m ³ , ρ dos inertes > 350 kg/m ³	1600-1800	1,05	1,00
	1400-1600	0,85	1,00
	1200-1400	0,70	1,00
	1000-1200	0,46	1,00
dosagem de cimento < 250 kg/m ³ , ρ dos inertes < 350 kg/m ³	800-1000	0,33	1,00
	600-800	0,25	1,00
	< 600	0,20	1,00
concreto de vermiculite (3 a 6 mm) ou perlite expandida fabricado em obra	600-800	0,31	1,00
	400-600	0,24	1,00
dosagem (cimento/areia) 1:3	700-800	0,29	1,00
dosagem (cimento/areia) 1:6	600-700	0,24	1,00
	500-600	0,20	1,00
concreto celular autoclavado	400-500	0,17	1,00
Gesso			
projetado ou de densidade massa aparente elevada	1100-1300	0,50	0,84
placa de gesso; gesso cartonado	750-1000	0,35	0,84
com agregado leve (vermiculita ou perlita expandida)			
dosagem gesso:agregado = 1:1	700-900	0,30	0,84
dosagem gesso:agregado = 1:2	500-700	0,25	0,84
Granulados			
brita ou seixo	1000-1500	0,70	0,80
argila expandida	< 400	0,16	
areia seca	1500	0,30	2,09
areia (10% de umidade)	1500	0,93	
areia (20% de umidade)	1500	1,33	
areia saturada	2500	1,88	
terra argilosa seca	1700	0,52	0,84

Impermeabilizantes

membranas betuminosas	1000-1100	0,23	1,46
asfalto	1600	0,43	0,92
asfalto	2300	1,15	0,92
betume asfáltico	1000	0,17	1,46

Isolantes térmicos

lã de rocha	20-200	0,045	0,75
lã de vidro	10-100	0,045	0,70
poliestireno expandido moldado	15-35	0,040	1,42
poliestireno extrudado	25-40	0,035	1,42
espuma rígida de poliuretano	30-40	0,030	1,67

Madeiras e derivados

madeiras com densidade de massa aparente elevada	800-1000	0,29	1,34
carvalho, freijó, pinho, cedro, pinus	600-750	0,23	1,34
	450-600	0,15	1,34
	300-450	0,12	1,34
aglomerado de fibras de madeira (denso)	850-1000	0,20	2,30
aglomerado de fibras de madeira (leve)	200-250	0,058	2,30
aglomerado de partículas de madeira	650-750	0,17	2,30
	550-650	0,14	
placas prensadas	450-550	0,12	2,30
	350-450	0,10	2,30
placas extrudadas	550-650	0,16	2,30
compensado	450-550	0,15	2,30
	350-450	0,12	2,30
aparas de madeira aglomerada com cimento em fábrica	450-550	0,15	2,30
	350-450	0,12	2,30
	250-350	0,10	2,30
palha (capim Santa Fé)	200	0,12	

Metais

aço, ferro fundido	7800	55	0,46
alumínio	2700	230	0,88
cobre	8900	380	0,38
zinco	7100	112	0,38

Pedras (incluindo junta de assentamento)

granito, gneisse	2300-2900	3,00	0,84
ardósia, xisto	2000-2800	2,20	0,84
basalto	2700-3000	1,60	0,84
calcários/mármore	> 2600	2,90	0,84
outras	2300-2600	2,40	0,84
	1900-2300	1,40	0,84
	1500-1900	1,00	0,84
	< 1500	0,85	0,84

Plásticos

borrachas sintéticas, poliamidas, poliésteres, polietilenos	900-1700	0,40	
polimetacrilicos de metila (acrílicos) policloreto de vinila (PVC)	1200-1400	0,20	

Vidro

vidro comum	2500	1,00	0,84
-------------	------	------	------

Legenda das propriedades dos materiais:

p: densidade de massa aparente

λ : condutividade térmica

c: calor específico

Anexo II: Exemplos de cálculo de transmitância térmica de parede externa (ABNT, 2005b, p.11-16, adaptações da autora).

C.1 Exemplo 1: Parede de tijolos maciços rebocados em ambas as faces (ver figura C.1)

Dados:

Dimensões do tijolo = 5 cm x 9 cm x 19 cm

$\rho_{\text{cerâmica}} = 1600 \text{ kg/m}^3$

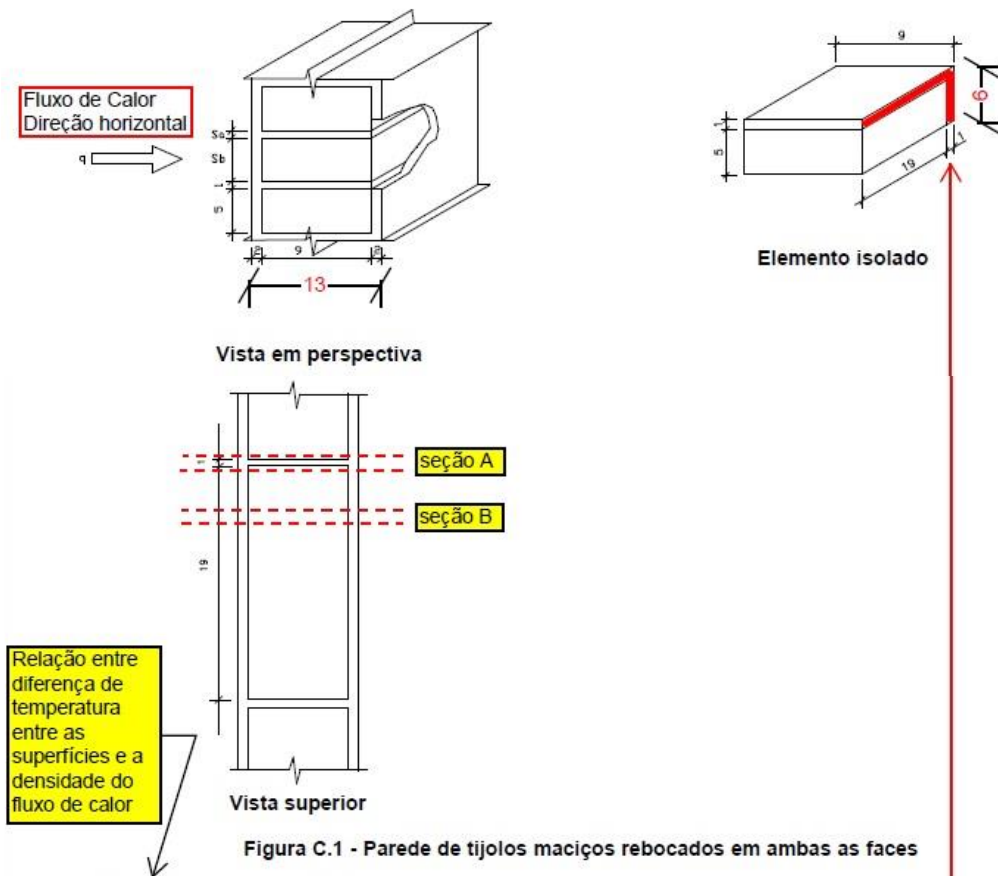
$\lambda_{\text{cerâmica}} = 0,90 \text{ W/(m.K)}$ (ver tabela B.3)

$C_{\text{cerâmica}} = 0,92 \text{ kJ/(kg.K)}$ (ver tabela B.3)

$\rho_{\text{argamassa}} = \rho_{\text{reboco}} = 2000 \text{ kg/m}^3$

$\lambda_{\text{argamassa}} = \lambda_{\text{reboco}} = 1,15 \text{ W/(m.K)}$ (ver tabela B.3)

$C_{\text{argamassa}} = C_{\text{reboco}} = 1,00 \text{ kJ/(kg.K)}$ (ver tabela B.3)



a) resistência térmica da parede:

Seção A (reboco + argamassa + reboco):

$$A_a = 0,01 \times 0,19 + 0,01 \times 0,06 = 0,0025 \text{ m}^2$$

Determina a área da superfície da argamassa/reboco para calcular

$$R_a = \frac{e_{\text{reboco}}}{\lambda_{\text{reboco}}} + \frac{e_{\text{argamassa}}}{\lambda_{\text{argamassa}}} + \frac{e_{\text{reboco}}}{\lambda_{\text{reboco}}} = \frac{0,02}{1,15} + \frac{0,09}{1,15} + \frac{0,02}{1,15} = \frac{0,13}{1,15} = 0,1130 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W}$$

Cálculo simples porque materiais tem as mesmas características

Seção B (reboco + tijolo + reboco):

$$A_b = 0,05 \times 0,19 = 0,0095 \text{ m}^2$$

Determina a área da superfície do tijolo para calcular

$$R_b = \frac{e_{\text{reboco}}}{\lambda_{\text{reboco}}} + \frac{e_{\text{cerâmica}}}{\lambda_{\text{cerâmica}}} + \frac{e_{\text{reboco}}}{\lambda_{\text{reboco}}} = \frac{0,02}{1,15} + \frac{0,09}{0,90} + \frac{0,02}{1,15} = 0,1348 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W}$$

Portanto, a resistência térmica da parede será:

$$R_t = \frac{A_a + A_b}{\frac{A_a}{R_a} + \frac{A_b}{R_b}} = \frac{0,0025 + 0,0095}{\frac{0,0025}{0,1130} + \frac{0,0095}{0,1348}} = \frac{0,0120}{0,0926} = 0,1296 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W}$$

Cálculo mais elaborado porque materiais tem características diferentes

C.2 Exemplo 2: Parede com blocos de concreto colados, sem reboco (ver figura C.2)

Dados:

Dimensões do bloco = 39 cm x 19 cm x 9 cm

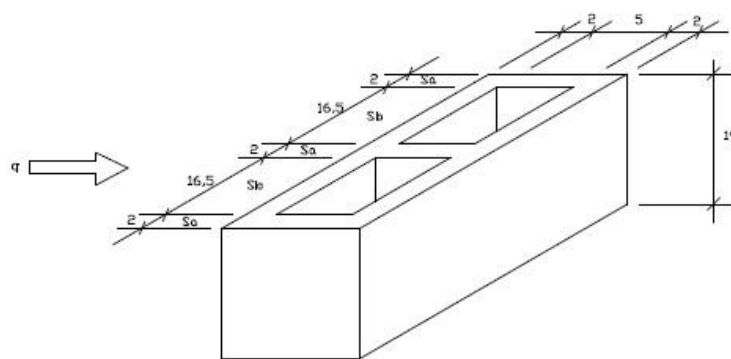
$\rho_{\text{concreto}} = 2400 \text{ kg/m}^3$

$\lambda_{\text{concreto}} = 1,75 \text{ W/(m.K)}$ (ver tabela B.3)

$C_{\text{concreto}} = 1,00 \text{ kJ/(kg.K)}$ (ver tabela B.3)

Nota: despreza-se a cola.

Para a câmara de ar, $R_{\text{ar}} = 0,16 \text{ (m}^2\text{.K)/W}$ (ver tabela B.1, superfície de alta emissividade, espessura da câmara de ar = 5,0 cm, fluxo horizontal).



Vista em perspectiva

Figura C.2 - Parede com blocos de concreto colados, sem reboco

a) resistência térmica da parede:

Seção A (concreto):

$$A_a = 0,02 \times 0,19 = 0,0038 \text{ m}^2$$

$$R_a = \frac{e_{\text{concreto}}}{\lambda_{\text{concreto}}} = \frac{0,09}{1,75} = 0,0514 \text{ (m}^2\text{.K)/W}$$

Seção B (concreto + câmara de ar + concreto):

$$A_b = 0,165 \times 0,19 = 0,03135 \text{ m}^2$$

$$R_b = \frac{e_{\text{concreto}}}{\lambda_{\text{concreto}}} + R_{\text{ar}} + \frac{e_{\text{concreto}}}{\lambda_{\text{concreto}}} = \frac{0,02}{1,75} + 0,16 + \frac{0,02}{1,75} = 0,1829 \text{ (m}^2\text{.K)/W}$$

AR: Tab.B1 (p.8) $R = e/\lambda$
 $0,16 = 0,05/\lambda \rightarrow \lambda = 0,3125$

Portanto, a resistência da parede será:

$$R_t = \frac{3 \times A_a + 2 \times A_b}{\frac{3 \times A_a}{R_a} + \frac{2 \times A_b}{R_b}} = \frac{3 \times 0,0038 + 2 \times 0,03135}{\frac{3 \times 0,0038}{0,0514} + \frac{2 \times 0,03135}{0,1829}} = \frac{0,0741}{0,5646} = 0,1312 \text{ (m}^2\text{.K)/W}$$

b) resistência térmica total:

$$R_T = R_{s1} + R_t + R_{se} = 0,13 + 0,1312 + 0,04 = 0,3012 \text{ (m}^2\text{.K)/W}$$

c) transmitância térmica:

$$U = \frac{1}{R_T} = \frac{1}{0,3012} = 3,32 \text{ W/(m}^2\text{.K)}$$

Tab.A1 (p.7)

C.3 Exemplo 3: Parede de tijolos cerâmicos de seis furos rebocados em ambas as faces (ver figura C.3)

Dados:

Dimensões do tijolo = 32 cm x 16 cm x 10 cm

$\rho_{\text{cerâmica}} = 1600 \text{ kg/m}^3$

$\lambda_{\text{cerâmica}} = 0,90 \text{ W/(m.K)}$ (ver tabela B.3)

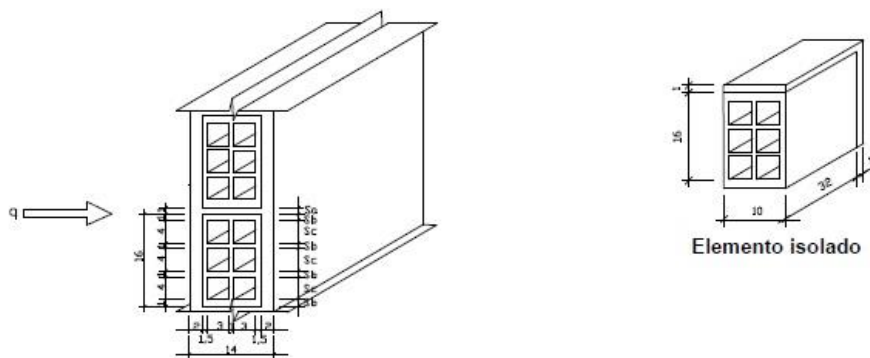
$C_{\text{cerâmica}} = 0,92 \text{ kJ/(kg.K)}$ (ver tabela B.3)

$\rho_{\text{argamassa}} = \rho_{\text{reboco}} = 2000 \text{ kg/m}^3$

$\lambda_{\text{argamassa}} = \lambda_{\text{reboco}} = 1,15 \text{ W/(m.K)}$ (ver tabela B.3)

$C_{\text{argamassa}} = C_{\text{reboco}} = 1,00 \text{ kJ/(kg.K)}$ (ver tabela B.3)

Para a câmara de ar, $R_{\text{ar}} = 0,16 \text{ (m}^2\text{.K)/W}$ (tabela B.1, superfície de alta emissividade, espessura da câmara de ar = 3,0 cm, fluxo horizontal).



Vista em perspectiva
Figura C.4- Parede de tijolos cerâmicos de seis furos rebocados em ambas as faces

a) resistência térmica da parede:

Seção A (reboco + argamassa + reboco):

$$A_a = 0,01 \times 0,32 + 0,01 \times 0,17 = 0,0049 \text{ m}^2$$

$$R_a = \frac{e_{\text{reboco}}}{\lambda_{\text{reboco}}} + \frac{e_{\text{argamassa}}}{\lambda_{\text{argamassa}}} + \frac{e_{\text{reboco}}}{\lambda_{\text{reboco}}} = \frac{0,02}{1,15} + \frac{0,10}{1,15} + \frac{0,02}{1,15} = \frac{0,14}{1,15} = 0,1217 \text{ (m}^2\cdot\text{K)/W}$$

Seção B (reboco + tijolo + reboco):

$$A_b = 0,01 \times 0,32 = 0,0032 \text{ m}^2$$

$$R_b = \frac{e_{\text{reboco}}}{\lambda_{\text{reboco}}} + \frac{e_{\text{cerâmica}}}{\lambda_{\text{cerâmica}}} + \frac{e_{\text{reboco}}}{\lambda_{\text{reboco}}} = \frac{0,02}{1,15} + \frac{0,10}{0,90} + \frac{0,02}{1,15} = 0,1459 \text{ (m}^2\cdot\text{K)/W}$$

Seção C (reboco + tijolo + câmara de ar + tijolo + câmara de ar + tijolo + reboco):

$$A_c = 0,04 \times 0,32 = 0,0128 \text{ m}^2$$

$$R_c = \frac{e_{\text{reboco}}}{\lambda_{\text{reboco}}} + \frac{e_{\text{cerâmica}}}{\lambda_{\text{cerâmica}}} + R_{\text{ar}} + \frac{e_{\text{cerâmica}}}{\lambda_{\text{cerâmica}}} + R_{\text{ar}} + \frac{e_{\text{cerâmica}}}{\lambda_{\text{cerâmica}}} + \frac{e_{\text{reboco}}}{\lambda_{\text{reboco}}}$$

$$R_c = \frac{0,02}{1,15} + \frac{0,015}{0,90} + 0,16 + \frac{0,01}{0,90} + 0,16 + \frac{0,015}{0,90} + \frac{0,02}{1,15} = 0,3992 \text{ (m}^2\cdot\text{K)/W}$$

Portanto, a resistência da parede será:

$$R_t = \frac{A_a + 4 \times A_b + 3 \times A_c}{\frac{A_a}{R_a} + \frac{4 \times A_b}{R_b} + \frac{3 \times A_c}{R_c}} = \frac{0,0049 + 4 \times 0,0032 + 3 \times 0,0128}{\frac{0,0049}{0,1217} + \frac{4 \times 0,0032}{0,1459} + \frac{3 \times 0,0128}{0,3992}} = \frac{0,0561}{0,2242} = 0,2502 \text{ (m}^2\cdot\text{K)/W}$$

b) resistência térmica total:

$$R_T = R_{si} + R_t + R_{se} = 0,13 + 0,2502 + 0,04 = 0,4202 \text{ (m}^2\cdot\text{K)/W}$$

c) transmitância térmica:

$$U = \frac{1}{R_T} = \frac{1}{0,4202} = 2,38 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$$